



Yksinpuintulkinnan tarkkuus puustotunnusten arvioinnissa

Leevi Raikisto

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Metsätalouden tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden tutkinto-ohjelma

RAIKISTO, LEEVI:

Yksinpuintulkinnan tarkkuus puustotunnusten arvioinnissa

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2025

Suomessa käynnistettiin vuonna 2020 kansainvälinen laserkeilausohjelma, joka tuottaa maanpintaa ja maanpinnalla olevia kohteita kuvaavan kolmiulotteisen pistemäisen aineiston. Laserkeilausaineiston mittaustarkkuus on viisi laserpulssia neliometriä kohden. Aineisto mahdollistaa ensimmäistä kertaa yhden puun tarkkuudella lasketun laajan metsävaratiedon.

Työn tarkoituksena on verrata korjuussa harvesterin keräämiä puustotietoja yksinpuintulkinnalla ja aluepohjaisella tulkinnalla tehtyihin aineistoihin ja selvittää kummalla aineistolla päästään eri puustotunnusten osilta tarkempiin tuloksiin. Työssä hyödynnettiin harvestereiden tuottamia mittalistoja avohakkuukohteilta, Metsäkannan tuottamaa yksittäisen puun tarkkuudella olevaa aineistoa ja metsäkeskuksen tuottamaa avointa aluepohjaista metsävaratietoa.

Tutkimuksen perusteella tukin osuuden ja keskijäreiden arviointi onnistui tarkemmin yksinpuintulkinnalla kuin aluepohjaisella tulkinnalla. Yksinpuintulkinnalla runkoluvun ja kuitupuun osuus arvioitiin pienemmäksi kuin toteutunut mittalistan data, koska kuitupuukokoisia runkoja on vaikeampi tunnistaa laserkeilausaineistosta. Opinnäytetyön tuloksista voidaan todeta, että yksinpuintulkinnalla on nykyteknologian avulla mahdollista päästä tarkempiin tuloksiin kuin yleisesti käytössä olevalla aluepohjaisella tulkinnalla. Tulevaisuudessa voidaan kasvattaa pistetiheyttä suuremmaksi nykyisestä ja tutkia voidaanko siten päästä tarkempiin tuloksiin runkoluvun ja kuituosuuden tuloksissa.

Asiasanat: laserkeilaus, yksinpuintulkinta, aluepohjainen menetelmä

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Forestry

RAIKISTO, LEEVI

Accuracy of individual tree detection in evaluation of tree data

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 5 pages
May 2025

Laser scanning program was launched 2020 in Finland, with the aim of producing data of the whole nation with an accuracy of five points per square meter. This data enables forest resource information that has been calculated with the accuracy of individual tree detection.

The purpose of the thesis is to compare data that has been collected during harvesting with data gathered with individual tree detection and area-based approach. The comparison determines which method provides more accurate results for different forest stand attributes. The work utilizes measurement lists produced by harvesters from clear cutting sites, individual tree detection data produced by Metsäkanta and open forest resource information produced by the Finnish Forest Centre.

The evaluation of the proportion of sawlogs and the average volume of a single tree was more accurate when using individual tree detection. The Number of stems and the proportion of pulpwood was evaluated smaller when using individual tree detection, because pulpwood sized stems are harder to identify from the laser scanning data. The results show that with the use of current technology it is possible to get more accurate results using single tree detection compared to commonly used area-based approach. In the future it is possible to increase the amount of scanning points per square meter and examine if that gives better results for the number of stems and pulpwood proportions.

Key words: laser scanning, individual tree detection, area-based approach

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	Metsän inventointi laserkeilaamalla	7
	2.1 Metsäkanta	10
3	Puutavaran mittaus harvesterilla	13
4	Metsävaratieto	16
5	Runkolukusarja	17
6	Aineistot ja menetelmät	19
7	Vertailu	20
	7.1 Kohde 1	20
	7.1.1 Runkoluvut puulajeittain	20
	7.1.2 Tilavuuksien erot	21
	7.2 Kohde 2	23
	7.2.1 Runkoluvut puulajeittain	24
	7.2.2 Tilavuuksien erot	25
	7.3 Kohde 3	28
	7.3.1 Runkoluvut puulajeittain	28
	7.3.2 Tilavuuksien erot	29
	7.4 Kohde 4	32
	7.4.1 Runkoluvut puulajeittain	32
	7.4.2 Tilavuuksien erot	33
	7.5 Kohde 5	36
	7.5.1 Runkoluku ja tilavuudet	36
	7.6 Yhteenveto vertailuista	38
8	Pohdinta	42
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	47
	Liite 1. Kohde 1 mittalista	47
	Liite 2. Kohde 2 mittalista	48
	Liite 3. Kohde 3 mittalista	49
	Liite 4. Kohde 4 mittalistat	50
	Liite 5. Kohde 5 mittalistat	51

LYHENTEET JA TERMIT

LiDAR	Light detection and ranging
GPS	Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite System
INS	Inertial navigation system
ABA	Area based approach
DTM	Digital Terrain Model
DSM	Digital Surface Model
NN	Nearest neighbor
K-NN	K-nearest neighbors
Vokseli	Volumetrinen pikseli

1 JOHDANTO

Metsävaratietojen käyttö on yleistynyt tärkeäksi osaksi metsäasiantuntijan työtehtäviä. Niiden avulla voidaan arvioida kohteen puustoa jo ennen siellä käyntiä, sekä etsiä uusia kohteita hakkuita varten. Teknologian kehityksen myötä voidaan laajoilta metsäalueilta saada yhä tarkempaa tietoa pienemmällä työmäärällä. Aikaisemmin metsävaratiedon tuottamiseen laserkeilaamalla on käytetty 0,5 pisteen tarkkuutta neliometriä kohden, jolloin on pitänyt käyttää aluepohjaista tulkintaa ja referenssikoealoja. Vuodesta 2020 alkaen maanmittauslaitos aloitti kansallisen laserkeilausohjelman, jonka tarkoituksena on keilata koko Suomen alue ensimmäistä kertaa 5 pistetiheyden tarkkuudella. Korkeampi pistetiheys mahdollistaa ensimmäistä kertaa yksinpuintulkinnan koko Suomen laajuudelta. Yksinpuintulkinnan mahdollisuuksia metsän inventoinnissa on kuitenkin tutkittu kauan ja nyt kehitetään siihen perustuvaa metsävaratietojärjestelmää. Yksinpuintulkinta voi mahdollistaa tarkemmat tiedot kohteelta pienemmällä maastotyöllä.

Työn tarkoituksena on verrata yksinpuintulkinnalla tuotettua aineistoa korjuussa toteutuneeseen aineistoon sekä avoimeen metsävaratietoon. Työssä tullaan vertailemaan yksinpuintulkinnalla kerättyjä tietoja metsävaratietojen aluepohjaisella menetelmällä kerättyihin tietoihin, jotta voidaan selvittää eri menetelmien käytössä esiintyviä eroja. Voidaan myös selvittää, onko yksinpuintulkinnalla kerätty tieto tarpeeksi tarkkaa, jotta metsäasiantuntijana sitä voitaisiin hyödyntää kohteiden kartoittamiseen ja puuston määrien arviointiin.

Työ toteutetaan käyttämällä kohteilta hakkuissa kerättyjä mittalistoja alueen puustomääristä, kehitysvaiheessa olevan Metsäkannan yksinpuintulkinnalla kerättyjä aineistoja ja Metsäkeskuksen mittaamia metsävaratietoja.

2 Metsän inventointi laserkeilaamalla

Laserkeilaus on yleistynyt tärkeäksi osaksi metsävaratietojen keräämisessä. Laserkeilauksen avulla saadaan puustosta alueelta tietoja pituuden lisäksi, pohjapinta-alasta, tilavuudesta ja läpimitasta. Tiedot eivät vastaa tarkkuudeltaan maastomittauksien tuottamaa tietoa, mutta laajoilta alueilta tiedon kerääminen lentolaserkeilauksella on huomattavasti halvempaa ja nopeampaa, jonka vuoksi sitä käytetään. Tarkempia puustotietoja tarvitaan yleensä vain pienemmiltä alueilta, jolloin laserkeilauksella kerättyjä voi käyttää pohja-aineistona maastossa tehdyille mittauksille.

Yleinen tapa metsävaratietojen keräämiseen on laserkeilaus. Laserkeilauksen voi suorittaa maasta käsin, mutta laajemmilta alueilta se suoritetaan lentolaserkeilauksena. Lentolaserkeilauksesta käytetään termiä LiDAR. LiDAR ei kuitenkaan ole synonyymi lentolaserkeilaukselle, koska se on lentolaserkeilausta kattavampi termi (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta 2013, s.11). Laserkeilauksen tavoin LiDAR mittaus perustuu lasersäteeseen, joka valaisee maanpintaa ja fotodiodiin, joka rekisteröi takaisinsirontasäteilyn. Laserkeilaukseen kuuluu tämän lisäksi lasersäteen paikantaminen ja suunnan määrittäminen, jotka eivät ole välttämättömiä LiDAR mittauksessa. (Holopainen ym. 2013, s.11). Laserkeilauksessa etäisyys kohteeseen saadaan mittaamalla kohteen ja laserpulssin välinen kulkuaika. Laserpulssit lähetetään kohtisuorassa lentosuuntaa vastaan. Lasertutkan asento ja sijaintitiedot saadaan lentokoneen GPS-laitteen avulla, jolloin laserpulssista saatu etäisyys pystytään muuttamaan korkeudeksi. (Holopainen ym. 2013, s.12). Lopputulokseksi keilauksesta saadaan kolmiulotteinen pisteaineisto, jossa pisteillä on x, y ja z koordinaatit. Lentolaserkeilaus suoritetaan noin 400–4000 metrin korkeudesta yleensä lentokoneesta, helikopterista tai miehittämättömästä lentoaluksesta. Metsien inventoinnissa maahan lähetetään noin 0,5–20 pulssia/m², pulssien määrä kasvattaa aineiston tarkkuutta. Lentolinjan leveys on 100 m – 1000 m ja sivupeitto 10–50 %. (Holopainen ym. 2013, s.20).

Laserkeilauslaitteistoon kuuluu etäisyydenmittausjärjestelmä, keilain, lentokoneen GPS/GNSS- ja INS-järjestelmät sekä tiedontallennus ja valvontajärjestelmä. Etäisyydenmittausjärjestelmään kuuluu lähetin, vastaanotin ja molempien

yksiköiden optiikka. (Holopainen ym. 2013, s.15). Laseriin kuuluu keilainosa, lasertykki ja ilmaisinososa. Keilainosan avulla saadaan lentosuuntaa vastaan kohtisuora poikkeutus ja lasertykki muodostaa laserpulssin. Takaisin tuleva laserpulssi vastaanotetaan ilmaisinosalla, joka määrittää etäisyyden kohteeseen, johon signaali on osunut. (Holopainen ym. 2013, s.15).

Yksinpuintulkinta eli ITD on puustotietojen tuottamiseen käytettävä menetelmä, jossa puuston tiedot saadaan hyödyntämällä laserkeilauksella tuotettua 3D pistepilviaineistoa. Yksinpuintulkinta tarvitsee tiheämmän pistepilviaineiston kuin aluepohjainen menetelmä ABA (Holopainen ym. 2013, s.21). Aluepohjainen tulkinta onnistuu 0,5–2 pulssia/m² tiheydellä, kun taas yksinpuintulkinta tarvitsee vähintään yli 2 pulssia/m², mutta tarkkojen tuloksen saamiseksi tulisi pistetiheyden olla vähintään 5 pulssia/m² (Holopainen ym. 2013, s.21). Pistepilvistä puuja puustotiedot saadaan mittaamalla puiden fysikaalisia ominaisuuksia tai käyttämällä ennustettavia tunnuksia ja pistepilvistä laskettujen piirteiden tilastollisia riippuvuussuhteita.

Yksinpuintulkinta perustuu latvuston pintamalliin, josta voidaan paikallistaa yksittäiset puut. Latvuston pintamalli eli Canopy Height Model saadaan, kun laserkeilausaineistosta poimitaan ympäristön matalimmat kaiut, luoden DTM mallin (Holopainen ym. 2013, s.23). DTM malli vähennetään korkeimmista kaiuista tehdystä DSM mallista luoden puuston korkeusmallin. (Holopainen ym. 2013, s.23). DTM mallin sijaan voi käyttää myös Digital Elevation Modelia, joka on maaston muotoja kuvaava korkeusmalli. Kun pintamalli on saatu, kannattaa se suodattaa. Suodatuksen avulla pyritään ehkäisemään isompien oksien tulkitsemista puiksi (Holopainen ym. 2013, s.28). Kun suodatus on tehty, voidaan aineistosta etsiä lokaali maksimit, jonka jälkeen etsitään ja erotetaan puiden latvusten rajat segmentoimalla (Holopainen ym. 2013, s.28). Pistepilvien käytön lisäksi voidaan käyttää ilmakuvia hyödyntävää digitaalista fotogrammetriaa. Siinä latvojen koordinaatit osoitetaan vähintään kahdesta kuvasta, jolloin sen sijainti lasketaan avaruuskolmiona. (Korpela 2011).

Laseraineistosta voidaan selvittää puun pituus, joka on puuston pituusmallin lokaali maksimi. Lokaali maksimi kertoo myös puun sijainnin. Laseraineisto kertoo latvuksen halkaisijan, josta voidaan yhdessä puun pituuden kanssa arvioida puun

rinnankorkeusläpimitta. (Holopainen ym. 2013, s.28). Latvuksen halkaisijasta johdetun läpimitan keskivirhe vaihtelee 7,3 % ja 14,9 % välillä riippuen puulajista ja mitä riippumattomia muuttujia käytetään. Läpimitan poikkeama vaihteli alle 3 cm ja alle 5 cm välillä. (Kalliovirta & Tokola 2005). Virheitä tätä menetelmää käyttäessä aiheuttaa puuston pituuden oikea arviointi ja rungon laatu. Myös pituus vaikuttaa tulosten tarkkuuteen. Etenkin pituudeltaan alle 3 metristen runkojen tulokset eivät olleet aina luotettavia. (Kalliovirta & Tokola 2005). Puulajin tulkintaan voidaan laserin lisäksi käyttää ilmakuvia. Puulajitulkinta perustuu latvuksen kokoon, muotoon ja pistepilvestä saataviin piirteisiin (Hyyppä, Holopainen, Vastaranta & Puttonen 2009). Ilmakuvien avulla voidaan puusta tulkita sävy- ja tekstuuripiirteitä sekä latvuksen valaistun latvuksen osaa suhteessa varjossa olevaan osaan (Hyyppä ym. 2009). Varjostuksen määrä kertoo latvuksen leveydestä. Rinnankorkeusläpimitan avulla voidaan johtaa puuston tilavuus ja puutavaralajien kertymät. On siis tärkeää, että läpimitta saataisiin arvioitua mahdollisimman tarkasti. Läpimittaa pystytään arvioimaan käyttämällä yleisiä allometrisia malleja, lo-kaaleja regressiomalleja tai NN-menetelmiä (Holopainen ym. 2013, s.28).

K-NN menetelmä perustuu referenssiaineistoon. Siinä kohteelle haetaan k kappaletta naapuriyksiköitä, jotka ovat mahdollisimman lähellä tätä yksikköä (Haara 2002). Jokaisen referenssiaineiston yksikön etäisyys kohdeyksikköön on selvitetty etäisyysfunktion avulla. Kohdeyksiköstä selvitettäville tunnuksille voidaan antaa referenssiaineistosta poimittujen naapuruston tunnuksien keskiarvot. Tunnuksia on myös mahdollista painottaa käyttämällä esimerkiksi etäisyyttä. (Haara 2002). K-NN menetelmää on laatutunnusten selvittämisessä vertailtu puutason sekamalliin, regressiomalleihin ja estimaatteihin. Vertailussa on tultu tulokseen, että K-NN menetelmä on yleisesti ottaen soveltuvin menetelmä latvusrajan ja toteutuneen tukkitilavuuden selvittämiseen (Pyörälä, Räsänen, Hämäläinen, Maltamo, Karjalainen, Peuhkurinen, Repola, Mäkinen, Hyyppä & Holopainen 2019).

Yksinpuintulkinta inventointimenetelmänä on korkeamman pulssitiheyden vuoksi toistaiseksi kalliimpaa kuin aluepohjainen tulkinta, mutta aluepohjainen tulkinta vaatii enemmän maastoreferenssin keräämistä (Holopainen, Vastaranta & Hyyppä 2014). Yksinpuintulkinta mahdollistaa tarkemmat puustotiedot aluepohjaiseen tulkintaan verrattuna. Sen avulla voidaan selvittää metsien lahopuiden

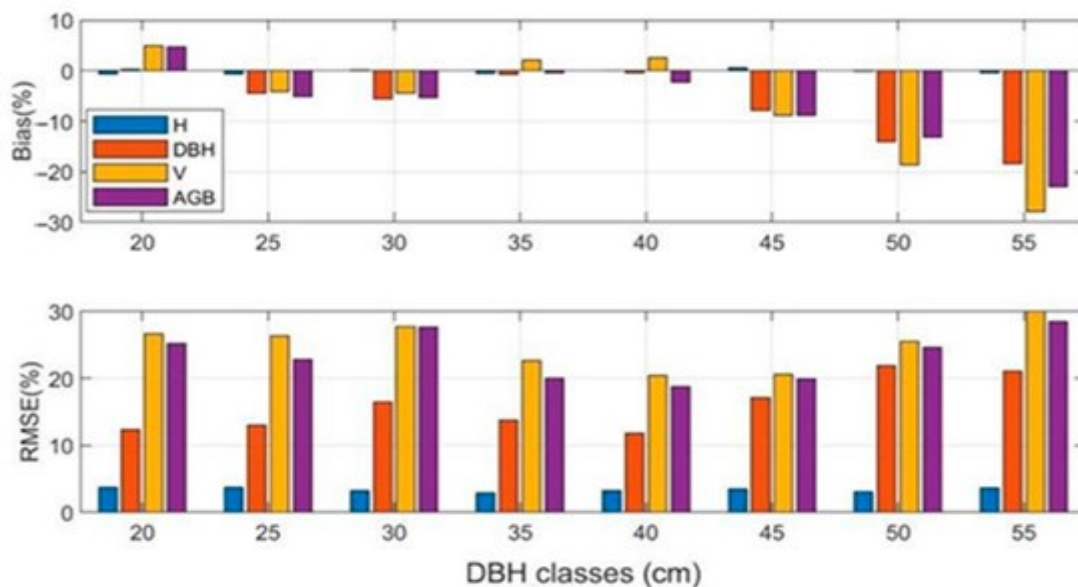
määrää ja sijaintia, sekä eniten hiiltä sitovat puut, joka helpottavat metsäsuunnittelua biodiversiteetin näkökulmasta (Maanmittauslaitos 2023). Metsätaloudessa yksinpuintulkinnan etu aluepohjaiseen tulkintaan verrattuna on mittaustuloksiin perustuva runkolukusarja (Holopainen ym. 2013, s.40). Yksinpuintulkinnan ongelmana on toistaiseksi se, ettei se tunnista kaikkia runkoja ja puulajin määrityksessä esiintyy virheitä. Etenkin pienemmät rungot jäävät helposti suurempien puiden alle. (Holopainen ym. 2013, s.40) Koska pienempiä runkoja ei löydy, tulkitaan alueen keskijäreys todellisuutta suuremmaksi. Aluepohjainen tulkinta on tällä hetkellä yleisesti käytössä metsävaratietojen keräämisessä (Holopainen ym. 2013, s.37). Aluepohjaista tulkintaa käytetään, koska se on yksinpuintulkintaa halvempaa, eikä yksinpuintulkintaan vaadittua 5 pisteen tarkkuudella mitattua keilausaineistoa löydy vielä koko Suomen alueelta. Aluepohjaiseen tulkintaan perustuva menetelmä antaa kuviokohtaisesti tiedot yksinkertaisessa muodossa, jolloin niistä saa riittävän käsityksen kohteen puustosta jo ennen kohteella tehtyjä tarkempia mittauksia. Tarkkuus kuitenkin vaihtelee paljon eri kohteiden välillä.

2.1 Metsäkanta

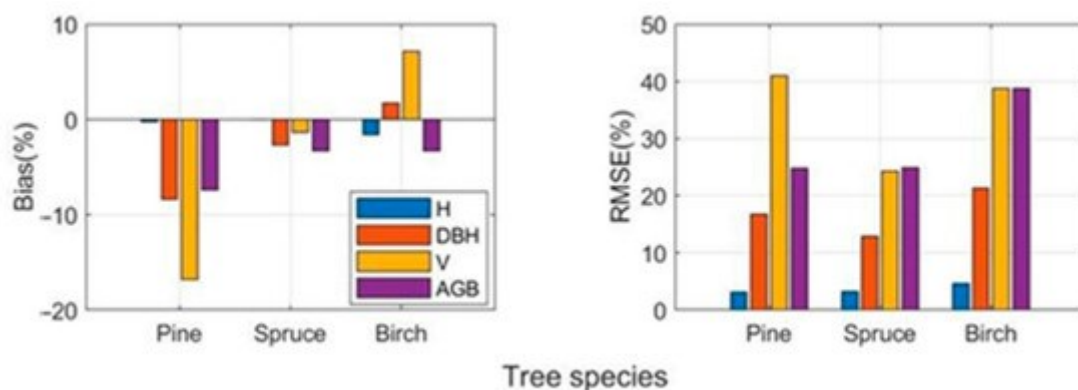
Metsäkanta on Maanmittauslaitoksen tutkimus- ja asiantuntijatyötä tekevän Paikatietokeskuksen tutkimusprojekti, jonka tarkoituksena on hyödyntää yksinpuintulkintaa yksityiskohtaisemman metsävaratiedon tuottamisessa. Tällä hetkellä Metsäkanta kattaa noin 5,8 miljardin puun tiedot yli 20 miljoonan hehtaarin alueelta (Metsäkanta n.d.). Aineisto tekee siitä maailman laajimman metsävaratietokannan ja se on maailman ensimmäinen laajalla alueella yksinpuintulkintaa hyödyntävä metsävaratietojärjestelmä (Metsäkanta n.d.). Puita voidaan tarkastella yksittäisesti tai laajemmalla alueella koottuna. Puustotietojen lisäksi kohteesta selviää myös arvo ja sidotun hiilen määrä.

Metsäkannan käyttämä aineisto on laserkeilattu 5 pulssia/m² tarkkuudella. Kehitysvaiheessa tehdyssä tutkimuksessa tutkimusaineistosta tunnistettiin noin 92 % puista, joiden rinnankorkeusläpimitta on yli 20 cm (Hyypä, Turppa, Hyyti, Yu, Handolin, Kukko, Hyypä & Virtanen 2024). Tunnistettujen yksilöiden keskivirheeksi korkeudelle, läpimitalle, tilavuudelle ja biomassalle saatiin 4,4 %, 16,9 %, 30,2 % ja 29 %. Keskivirheen ollessa näin pieni, voidaan todeta, että aineisto on

tarpeeksi tarkkaa metsätaloudessa hyödyntämiseen (Hyypä ym. 2024). Kuviosta 1 näkee, että rinnankorkeuslähimitaltaan pienemmät puut yliarvioitiin, kun taas lähimitaltaan suuremmat puut aliarvioitiin. Kuviosta 2 näkee, että kuusen tilavuuden arvioinnissa oli vähiten eroa referenssiaineistoon, kun taas lehtipuiden lähimitalan arvioinnissa oli eniten eroa.



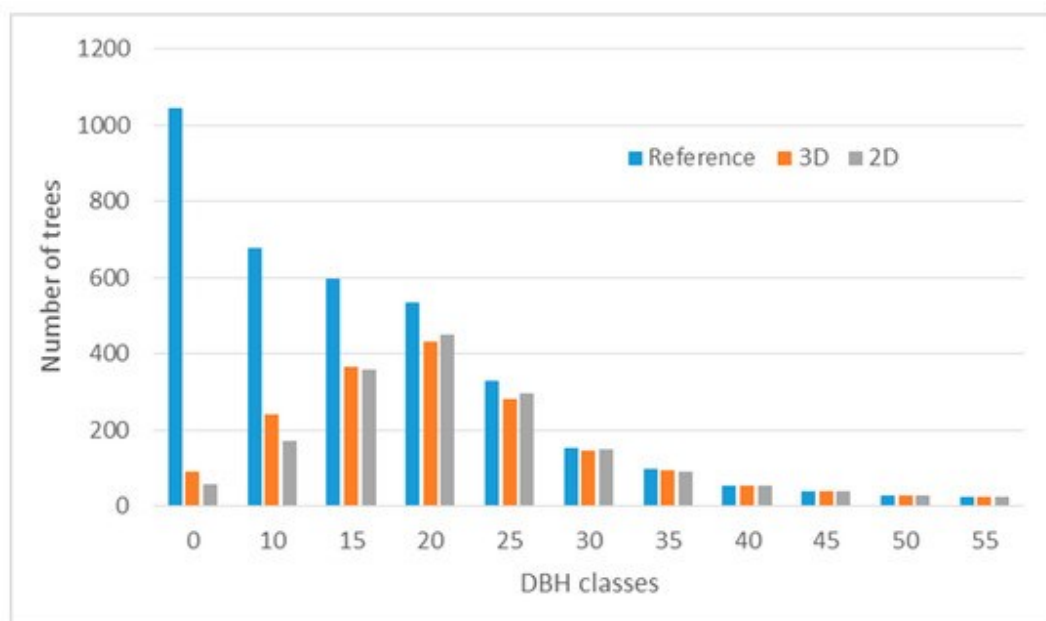
KUVIO 1. Ennustettujen laatutunnusten erot (Hyypä ym. 2024).



KUVIO 2. Ennustettujen laatutunnusten erot puulajeittain (Hyypä ym. 2024).

Yksinpuintulkinnassa hyödynnettiin rasterointiin perustuvaa menetelmää, jossa puuston latvus etsittiin pituusmallista lokaaleiden maksimien avulla, jolloin latvuksesta voitiin rajata yksittäiset puut (Hyypä ym. 2024). Toinen vaihtoehto tulkinnalle oli käyttää vokseleihin perustuvaa menetelmää, jossa aineiston puut segmentoidaan toistuvasti korkeimmasta puusta lyhyimpään perustuen etäisyydelle asetettuun raja-arvoon ja minimi välin sääntöön (Hyypä ym. 2024). Kuviosta 3

näkee, että vokseleihin perustuvalla menetelmällä pystyttiin löytämään enemmän puita, jotka ovat rinnankorkeusläpimitaltaan alle 20 cm. Rastereihin perustuvalla menetelmällä taas löydettiin 5 % enemmän puita, joiden rinnankorkeusläpimitta on yli 20 cm. Tutkimuksessa haluttiin keskittyä tukki kokoisten puiden löytämiseen, jonka takia laajemman alueen tulkintaan otettiin käyttöön rastereihin perustuva menetelmä (Hyypä ym. 2024).



KUVIO 3. Eri menetelmillä löydetyt puut verrattuna referenssiaineistoon (Hyypä ym. 2024).

3 Puutavaran mittaus harvesterilla

Motomitta on yleistynyt pääsääntöiseksi puutavaran mittausmenetelmäksi. Harvesterin mittaamiin puutavaralajimääriin perustuu metsänomistajalle suoritettava maksu. Tästä syystä on erityisen tärkeää, että mittaustarkkuus vastaa todellisuutta, jonka takia mittaustarkkuuteen on asetettu laki puutavaran mittauksesta, Metsätehon suositukset, sekä yhtiökohtaiset omat säädökset.

Hakkuukoneen mittaama läpimitta perustuu kolmiomittaukseen, joka mitataan kuoren päältä (Metsäteho 2015). Kolmiomittauksen avulla pyritään vähentämään mutkaisuudesta ja koroista aiheutuvia mittavirheitä. Harvesterin kourassa sijaitseva läpimitta-anturi on kytketty kouran karsintateriin tai syöttörulliin, jotka kulkevat koko ajan runkoa vasten (Metsäteho 2015). Läpimitta-anturilta tieto kulkee hakkuupään mittalaitteeseen. Läpimittaa mitataan 1 mm tarkkuudella kuoren päältä. Kone laskee pölkyn jokaiselle 10 cm osuudelle noin 10–20 läpimittahavaintoa. Läpimittahavainnot suodatetaan, jonka tuloksena muodostuu 10 cm osuuden läpimitta. (Metsäteho 2015). Pituuden mittaus tapahtuu myös koko ajan puun käsittelyn aikana. Pituuden mittauksessa käytetään pituusmittarullaa, joka pyörii rungon myötäisesti (Metsäteho 2015). Rullan avulla saadaan mitattua pölkyn pituus 1 cm tarkkuudella. Pölkkyjen tilavuus voidaan johtaa mittalaitteelta saaduista läpimitta ja pituus tiedoista. (Metsäteho 2015). Tilavuus lasketaan pölkkykohtaisesti käyttämällä lieriön tai katkaistun kartion kaavaa. Tilavuuden laskussa käytetään läpimitan mittausvälejä, jolloin tilavuus lasketaan pölkylle enintään 10 cm osissa. Tyvipölkyn mittaus poikkeaa siten, että sen tilavuuden selvittämisessä käytetään joko tyviprofiilifunktiota tai taulukoita. Läpimitaksi siinä käytetään 1,3 metrin päässä kaatoleikkauksesta mitattua läpimittaa. (Metsäteho 2015). Kun pölkyn kaikille pätkille on laskettu tilavuus, voidaan ne summata ja saada pölkyn kokonaistilavuus.

Mittauksessa käytettävien laitteiden vaatimukset on määrätty Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa Nro 12/13 (17.6.2013). Mittauslaitteen tulee soveltaa puutavaran mittauksessa oleviin käyttöolosuhteisiin. Mittauslaitteen markkinoille tuojan on ilmoitettava laitteelle käyttöolosuhteiden ja puutavaran ominaisuuksien rajaama käyttöalue. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013). Jotta mitaustuloksen luotettavuus voidaan varmistaa, mittauslaitteen käytön aikana tulee

olla rekisteröitävissä kalibrointi ja viritys sekä mittaustulokseen ja mittaustarkkuuteen vaikuttavat parametrit. Mittaustulos tulee olla tarkastettavissa mittaustuloksen osatekijöiden tai mittaustuloksen suhteen. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013). Mittaustulos pitää pystyä näyttämään käytön aikana, jotta voidaan varmistaa mittauksen luotettavuus. Mittaustulos sekä sen laskentaan käytettävät tiedot ja erän yksilöinnin tiedot tulee tallentaa. Mittayksikön tulee näkyä mittaustuloksessa. Jotta voidaan välttää tietojen katoaminen, on mittauslaite sekä sen ohjelmistot suojattava siten, että oleelliset tiedot pystytään tallentamaan luotettavalla tavalla. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013).

Mittaustulosten luotettavuuteen ei riitä pelkästään hakkuukoneen mittalaitteet. Mittalaitteen toimintaa tulee seurata ja sille tulee tehdä tarkastusmittauksia, jotta mittalaitetta voidaan säätää vastaamaan esimerkiksi kelien muutosta. Jokaisen työvuoron alussa kuskin tulee varmistua mittauslaitteen toimivuudesta (Heikurainen, Paavilainen, Rintala, Palokangas, Saarentaus, Immonen, Sirviö, Jaakkola, Palojärvi, Laiho & Hongisto 2018). Toimivuuden tarkastuksen voi suorittaa muutamalle pölkylle, jolloin varmistutaan pituuden ja katkaisuläpimitan arvoista. Tarkastus voidaan myös suorittaa varmistamalla hakkuulaitteen auki/kiinni arvot (Heikurainen ym. 2018). Tarkastuksen yhteydessä huolehditaan siitä, että mittalaitte arpoo vähintään kahdesti satunnaisia näyterunkoja käyttöviikon ajaksi. Näyterunkojen otanta tulee suorittaa siten, että pääpuulajien lisäksi myös sivupuula-jeista tulee havaintoja (Heikurainen ym. 2018). Hakkuukoneille vaaditaan oma-valvonnan lisäksi ulkopuolisen tahon tekemiä tarkastusmittauksia vähintään kahdesti vuodessa, eikä sitä tehdä hakkuukoneen omilla mittasaksilla (Heikurainen ym. 2018). Tarkastuserä on vähintään 30 pölkkyä ja pääpuulajin tukki- ja kuitupuutavaralajiryhmään tulee kuulua vähintään 10 pölkkyä (Heikurainen 2018). Tarkastusmittaus saa poiketa koneen mittauksesta enintään 4 %, rajan ylittyessä tulee tehdä lisätarkastuserä (Heikurainen ym. 2018). Tarkastuksen jälkeen mittalaitetta säädetään vastaamaan tuloksia.

Mittausvirheisiin voi kuitenkin vaikuttaa moni muukin asia mittalaitteen kalibroinnin lisäksi. Katkaisuikkunan tulisi olla enintään 2 cm ja jarrutuksen pehmeä (Korpilahti, Hujo & Poikela 2006). Edestakaisin syöttö katkaisukohdan löytämiseksi lisää mittauksen heittoa, koska mittapyörä voi painua rungon pehmeissä kohdissa (Korpilahti ym. 2006). Samalla myös kuorta irtoaa enemmän tarttuen kiinni

pyörään, joka aiheuttaa sen luistamista (Korpilahti ym. 2006). Ongelmia voidaan kuitenkin ennalta ehkäistä vaihtamalla mittapyörää tarpeeksi usein, jolloin hampaat eivät kulu liian tylsiksi. Mittapyörää voidaan vaihtaa myös vastaamaan keliolosuhteita, nila-aikana kannattaa käyttää kapeampaa pyörää (Korpilahti ym. 2006). Etukarsintaterän kunnossa pitämisellä voidaan varmistaa, ettei mittapyörän kulku-uralle jää esteitä. Mittapyörää ei saa rasvata liikaa, sillä ylimääräinen rasva voi päätyä pulssianturiin ja aiheuttaa häiriötä (Korpilahti ym. 2006). Laippa ja teräketju pitää olla kunnossa, sillä niiden avulla varmistetaan sahausksen pysyminen suorassa (Korpilahti ym. 2006). Koska mittalaitteen häiriöt voivat johtua monesta eri asiasta, on kuljettajalla iso rooli huolehtia ja tarkistaa säännöllisesti mittauksen tarkkuus.

4 Metsävaratieto

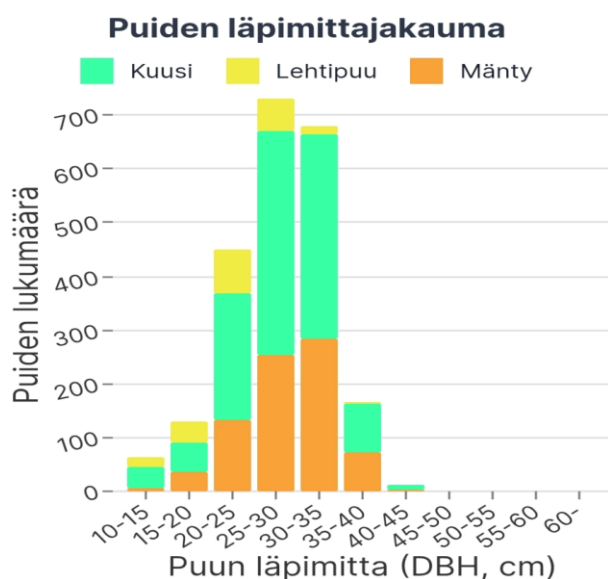
Metsävaratieto on Metsäkeskuksen keräämää tietoa Suomen metsistä. Metsävaratietoa kerätään hyödyntämällä laserkeilausta, ilmakuvausta ja koealamittauksia. Metsävaratietoihin kuuluu metsävarakuviot, latvusmallit, Hila-aineisto, koealat, korjuukelpoisuuskartat ja puustomaski. (Metsäkeskus, Metsävaratiedot n.d.).

Metsävarakuvioiden tiedonkeruu perustuu maastossa tehtäviin koealamittauksiin, lentokoneesta tehtävään laserkeilaukseen ja ilmakuviin. Yhden kaukokartoitusalueen koko on noin 300 000 hehtaaria (Metsäkeskus, Tiedonkeruu n.d.). Yhdeltä inventointialueelta mitataan joko 700–800 ympyräkoealaa tai 150–200 puukarttakoealaa. On myös mahdollista käyttää molempia koealamenetelmiä yhdellä kohteella. (Metsäkeskus, Tiedonkeruu n.d.) Koealoja käytetään puustotulkinnan esikäsittelyssä, jossa niistä mitattuja tietoja verrataan laskentamallien tuottamiin tietoihin aineistosta. Puustotulkinnassa käytetään 16 x 16 metrin hilaruutua inventointiyksikkönä. Nykyään hilaruutujen sijaan voidaan käyttää myös vastaavan kokoista latvusrajattua puuryhmää. (Metsäkeskus, Tiedonkeruu n.d.). Hilaruuduista yhdistetään metsävarakuviota toimenpidetarpeiltaan, kasvupaikaltaan ja puustoltaan yhtenäiset alueet. Kuviot sisältävät tiedon kuvion puustosta, kasvupaikasta ja ehdotetuista toimenpiteistä ja kuviohistorian. Metsävarakuvioiden tiedot päivitetään kaksi kertaa viikossa.

Laserinventoinnissa uudistuskypsissä ja kasvatus metsissä pyritään pääsemään kahdeksalla kuviolla kymmenestä vähintään 20 % tarkkuuteen kokonaistilavuuden osalta (Metsäkeskus, Tiedon laatu n.d.). Keskipituudelle on määritetty +/- 2 metriä tarkkuudeksi ja keskiläpimitan tulee olla 3 cm tarkkuudella oikeasta. Pohjapinta-alalle vaihteluväliksi on asetettu 3 m²/ha oikeasta. (Metsäkeskus, Tiedon laatu n.d.). Tietojen tulee olla arvojen sisällä kahdeksalla kuviolla kymmenestä. Tietojen tarkkuus heikentyy kohteilla, joissa puusto on pienempää. Myös epätasainen ja monijaksoinen puusto tai ympäröivän alueen metsästä poikkeava kuvio aiheuttaa epätarkkuuksia. (Metsäkeskus, Tiedon laatu n.d.).

5 Runkolukusarja

Runkolukusarjalla kuvataan tietyn alueen puuston läpimittajakaumaa. Puuston jakauman kuvaaminen graafisesti onnistuu siten, että alueen jokaiselle puulajille määritetään pienin ja suurin läpimitta (Rasinmäki, Mäkinen & Kalliovirta 2009). Kun pienin ja suurin arvo on tiedossa, siitä saatava vaihteluväli jaetaan esimerkiksi 1 cm jaolla tasaisiin läpimittaluokkiin. Läpimittaluokkiin lasketaan, kuinka monta runkoa rinnankorkeusläpimitaltaan jokaiseen luokkaan tulee. (Rasinmäki ym. 2009). Läpimittajakauma voidaan muodostaa käyttämällä teoreettisia jakaumamalleja kuten Weibull-jakaumaa tai käyttämällä esimerkiksi lähimmän naapurin menetelmää (Holopainen ym. 2013 s. 40). Yksinpuintulkinnan avulla runkolukusarjoja ei tarvitse ennustaa ja arvioida vaan runkolukusarja voidaan tehdä perustuen suurimmaksi osaksi todelliseen mittausdataan. Kuviossa 4 on esitetty metsäkannan tuottama runkolukusarja. Ongelmana toistaiseksi on vielä se, että pienemmät puut jäävät isojen puiden alle, jolloin niitä ei lentolaserkeilauksella löydy. Lentolaserkeilauksen avulla on mahdollista saada tarkin tieto puuston pituudesta, mutta läpimitan arvioinnissa voi esiintyä virheitä mallinnuksen takia (Vauhkonen, Kankare, Tanhuanpää, Holopainen & Vastaranta 2013). Tarkimmat tulokset olisi mahdollista saada yhdistämällä lentolaserkeilauksen dataa ja maastosta kerättyä dataa (Vauhkonen ym. 2013).



KUVIO 4. Metsäkannan tuottama runkolukusarja.

Runkolukusarjojen avulla on mahdollista simuloida toimenpiteitä helpommin. Ne auttavat kuvaamaan missä läpimittaluokissa on eniten kilpailua, joka auttaa harvennusmallien suunnittelussa (Rasinmäki ym. 2009). Leimikon runkolukusarjan tietäminen ennen korjuun aloittamista mahdollistaa tarkemman ennusteen puutavaralajikertymistä ja tilavuuksista (Kontinen, Kotiharju & Vanhatalo 2019). Ennen korjuuta on tiedossa halutut puutavaralajit, niiden määrät ja niille halutut mitta- ja laatuvaatimukset, jolloin runkolukusarjoja hyödyntämällä voidaan etsiä varannosta leimikko, joka vastaa niitä parhaiten.

6 Aineistot ja menetelmät

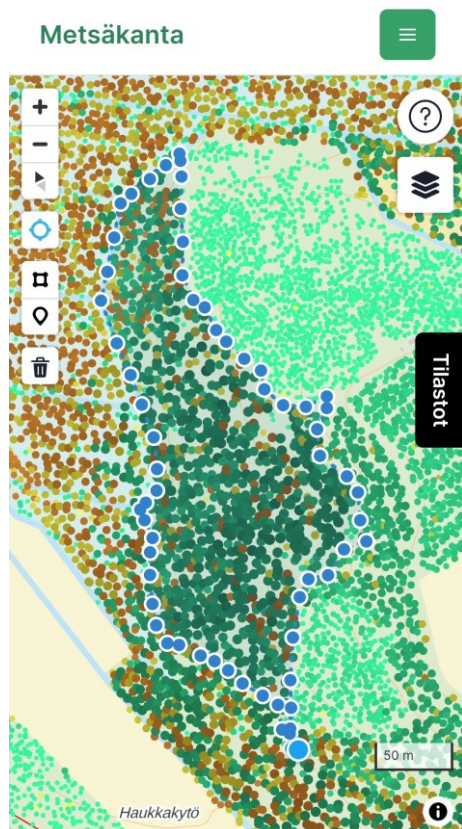
Aineistona työssä käytetään hakkuukoneilta saatua mittaustodistusta, jota verrataan metsäkannan keräämään ja tulkitsemaan laserkeilausaineistoon. Hakkuukohteet ovat avohakkuita ja ne on valittu satunnaisesti alueilta, joista laserkeilausaineistoa löytyy. Hakkuualueiden valintaan on myös vaikuttanut mittalistojen saatavuus, jonka takia hakkuualueiksi on valittu kohteita, joiden korjuu on toteutettu vuonna 2025. Metsäkannan aineiston saamiseksi hakkuualueelta on hyödynnetty metsäkannasta löytyvää vapaan rajauksen ominaisuutta. Alueet on kävelty reunoja pitkin ja rajattu käyttämällä sovelluksen GPS paikannusta. Myös avointa metsävaratietoa on käytetty kolmantena vertailuaineistona. Avoimesta metsävaratiedosta on käytetty valmiita kuvioita, joista tietoja on yhdistetty vastaamaan hakkuualueita.

Tuloksista aineistojen välillä vertaillaan kohteiden runkolukua puulajikohtaisesti, jolloin voidaan selvittää, kuinka tarkasti laserkeilausaineistosta on löydetty puut ja niille selvitetty oikeat puulajit. Tilavuuksia vertaillaan puulajikohtaisesti kokonaistilavuuksien osalta ja puutavaralajikohtaisesti jaettuna tukkipuun ja kuitupuun osuuteen. Metsäkannan aineistossa koivua ei olla eritelty omaksi puulajiksi vaan lehtipuita käsitellään yhtenä kokonaisuutena. Sen vuoksi myös mittalistan aineistoa käsitellessä koivun osuuteen lisätään muiden lehtipuiden osuus tilavuudesta, sekä lasketaan rungon keskijäreys yhdistetystä kokonaistilavuudesta. Kuitujen osuuksien vertailussa tulee ottaa huomioon, että Metsäkantaa tehtäessä on haluttu keskittyä pääsääntöisesti tukin tarkkaan arviointiin, jolloin läpimitaltaan kuitu kokoisia puita ei ole tunnistettu yhtä tarkasti. Tulosten vertailussa ei ole huomioitu kohteelle jätettyjä säästöpuita, jotka eivät mittalistassa ole mukana. Lahokuusta ei ole laskettu kuitujen osuuksiin mukaan, sillä sitä käytetään myös energia-puuna. Jos kohteelta on saatu sorvia tai useampaa eri tukkia, on niiden tilavuudet laskettu yhteen. Myös puulajien keskitilavuutta voidaan vertailla. Mittalista antaa suoraan puulajien runkojen keskitilavuuden ja metsäkannan sekä metsävaratiedon aineistoista sen saa hyödyntämällä puulajien keskiläpimittaa ja keskipituutta sekä Laasasenahon tilavuustaulukoita. Tuloksia käsitellään Excelissä, jossa niitä voidaan havainnoida kaavioiden avulla. Lopuksi kohteista on tehty yhteenvedoksi puulajikohtaiset taulukot.

7 Vertailu

7.1 Kohde 1

Kohde 1 on JPJ-Woodin kohde, joka sijaitsee Keuruulla ja on pinta-alaltaan noin 2,7 hehtaaria. Kohteelle on tehty avohakkuu tammikuussa 2025. Laserkeilausaineisto alueelta on kerätty vuonna 2021. Mittalistan tiedoista koivun ja muiden lehtipuiden tiedot on yhdistetty. Sorvitukin osuus on lisätty kuusitukin osuuteen. Mäntysahakuitu on lisätty mäntykuituun ja kuusisahakuitu on lisätty kuusikuituun. Kuvassa 1 on kohde rajattuna metsäkannassa.

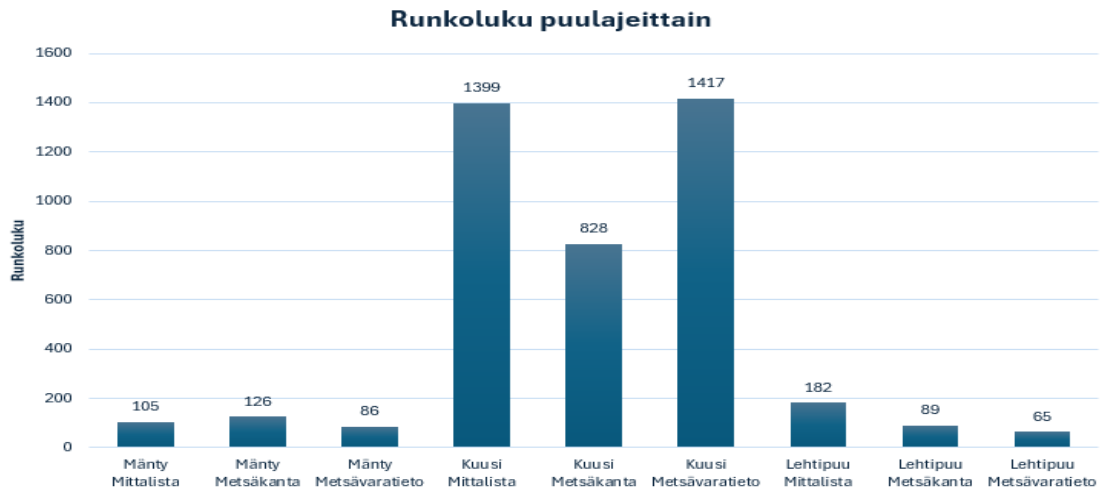


KUVA 1. Kohteen 1 rajaus kartalla.

7.1.1 Runkoluvut puulajeittain

Kuviossa 5 on esitetty kohteen yksi runkolukujakauma puulajeittain. Kokonaisrunkoluku kohteella oli mittalistan mukaan 1686 runkoa. Metsäkanta arvioi runkoluvuksi 1043 runkoa ja avoin metsävaratieto 1568 runkoa. Mäntyjä Metsäkanta arvioi 21 runkoa eli 20 % enemmän kuin mittalista. Metsävaratiedossa mäntyjä

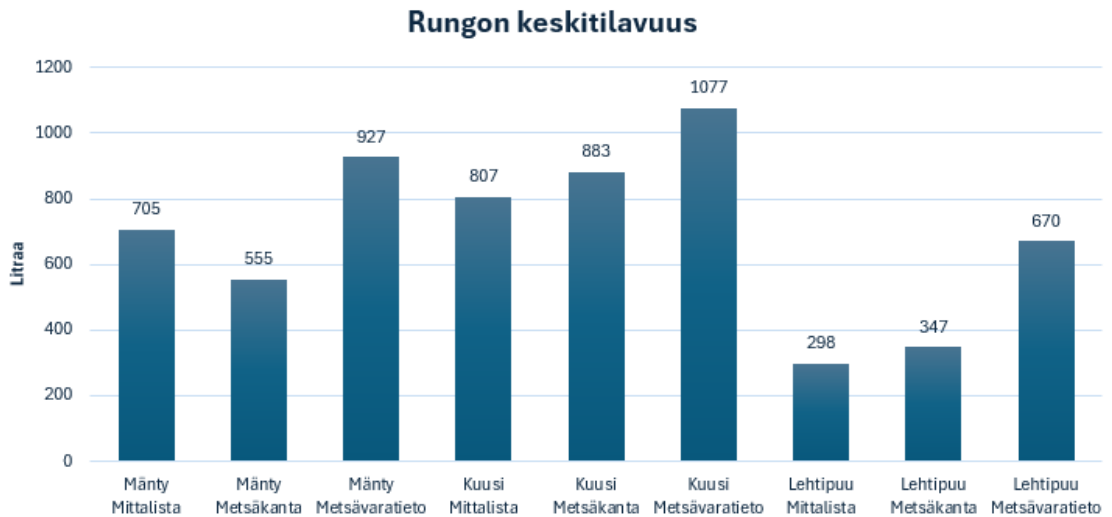
oli 19 runkoa eli 18 % vähemmän kuin mittalistassa. Kuusia Metsäkanta arvioi 571 runkoa eli 41 % vähemmän ja metsävaratiето 18 runkoa eli 1 % enemmän kuin mittalista. Lehtipuita Metsäkanta arvioi 93 runkoa eli 51 % vähemmän ja metsävaratiето 117 runkoa eli 64 % vähemmän kuin mittalista.



KUVIO 5. Runkoluvut puulajeittain.

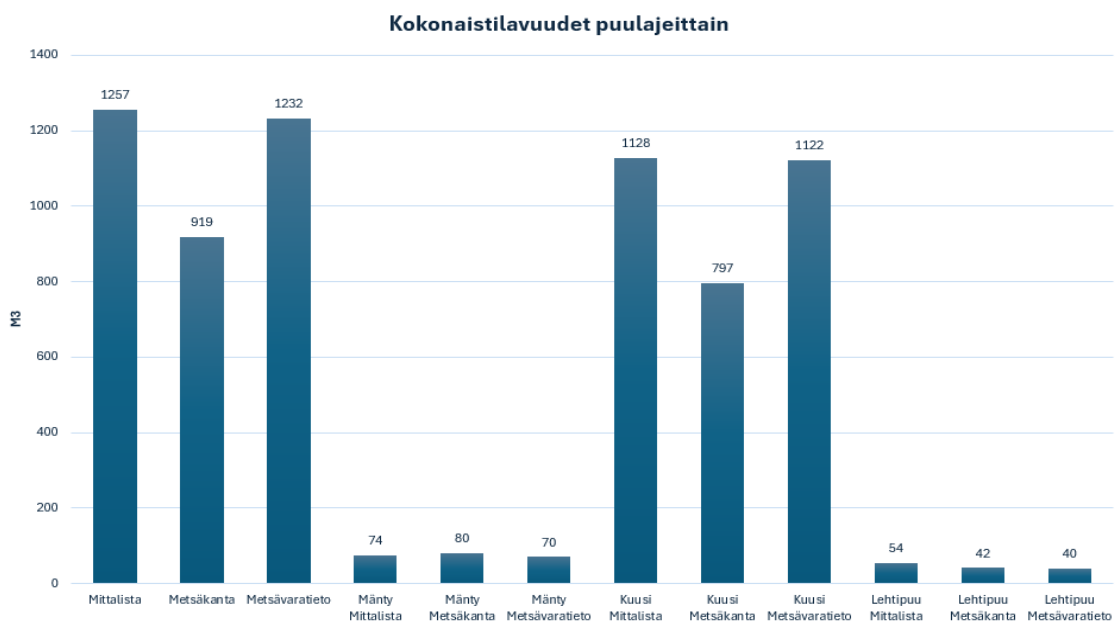
7.1.2 Tilavuuksien erot

Keskutilavuudet puulajeille on esitetty kuviossa 6. Ensimmäisellä kohteella männyn keskijäreys oli 705 litraa. Metsäkannan arvioi tilavuuden 150 litraa eli 21 % pienemmäksi. Metsävaratiेतo arvioi tilavuuden 222 litraa eli 31 % suuremmaksi. Kuusella rungon keskijäreys oli hakkuussa 807 litraa. Metsäkanta arvioi keskijäreiden 76 litraa eli 9 % suuremmaksi. Metsävaratiedon arvioima tilavuus oli 270 litraa eli 33 % suurempi. Lehtipuille mittalista antoi keskijäreudeksi 298 litraa. Metsäkanta arvioi sen 49 litraa eli 16 % suuremmaksi. Metsävaratiेतo arvioi tilavuuden 372 litraa eli 128 % suuremmaksi.



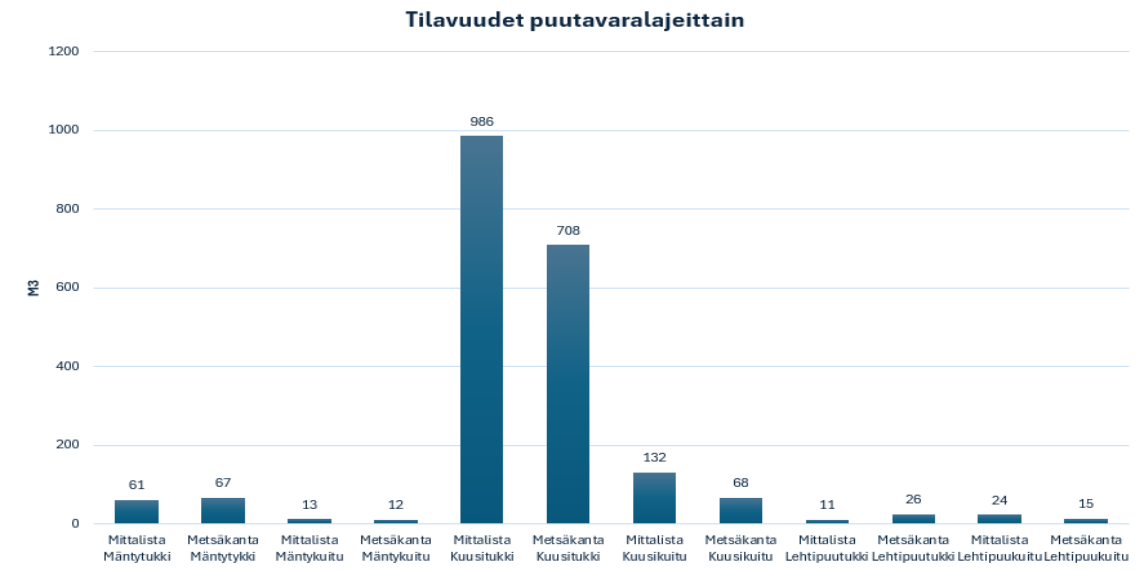
KUVIO 6. Runkojen keskitilavuudet.

Kohteen kokonaistilavuudet näkyvät kuviossa 7. Mittalista antoi kokonaistilavuudeksi 1257 m³, Metsäkanta 919 m³ ja Metsävaratieto 1232 m³. Metsäkanta arvioi kokonaistilavuuden 338 m³ eli 27 % pienemmäksi ja metsävaratieto 25 m³ eli 2 % pienemmäksi kuin mittalista. Mäntyä oli metsäkannassa 6 kuutiometriä eli 8 % enemmän ja metsävaratiedossa 4 kuutiometriä eli 5 % vähemmän kuin mittalistassa. Kuusta oli metsäkannassa 331 kuutiometriä eli 29 % vähemmän ja metsävaratiedossa 6 kuutiometriä eli 1 % vähemmän kuin mittalistassa. Lehtipuita oli metsäkannassa 12 kuutiometriä eli 22 % vähemmän ja metsävaratiedossa 14 kuutiometriä eli 26 % vähemmän kuin mittalistassa.



KUVIO 7. Kokonaistilavuudet puulajeittain.

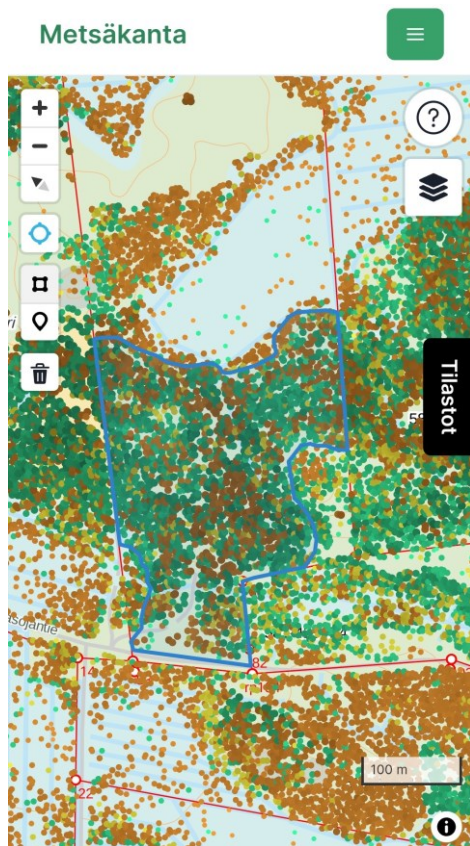
Puutavaralajeittain tulokset on esitetty kuviossa 8. Mäntytukille Metsäkanta arvio tilavuudeksi kuusi kuutiometriä eli 10 % enemmän ja kuidulle yhden kuutiometrin eli 8 % vähemmän kuin mittalista. Kuusitukille Metsäkanta arvio tilavuudeksi 708 kuutiometriä eli 28 % vähemmän ja kuitua 64 kuutiometriä eli 48 % vähemmän kuin mittalista. Lehtipuutukin tilavuudeksi Metsäkanta arvioi 15 kuutiometriä eli 136 % enemmän ja kuitua 9 kuutiometriä eli 38 % vähemmän kuin mittalista.



KUVIO 8. Tilavuudet puutavaralajeittain.

7.2 Kohde 2

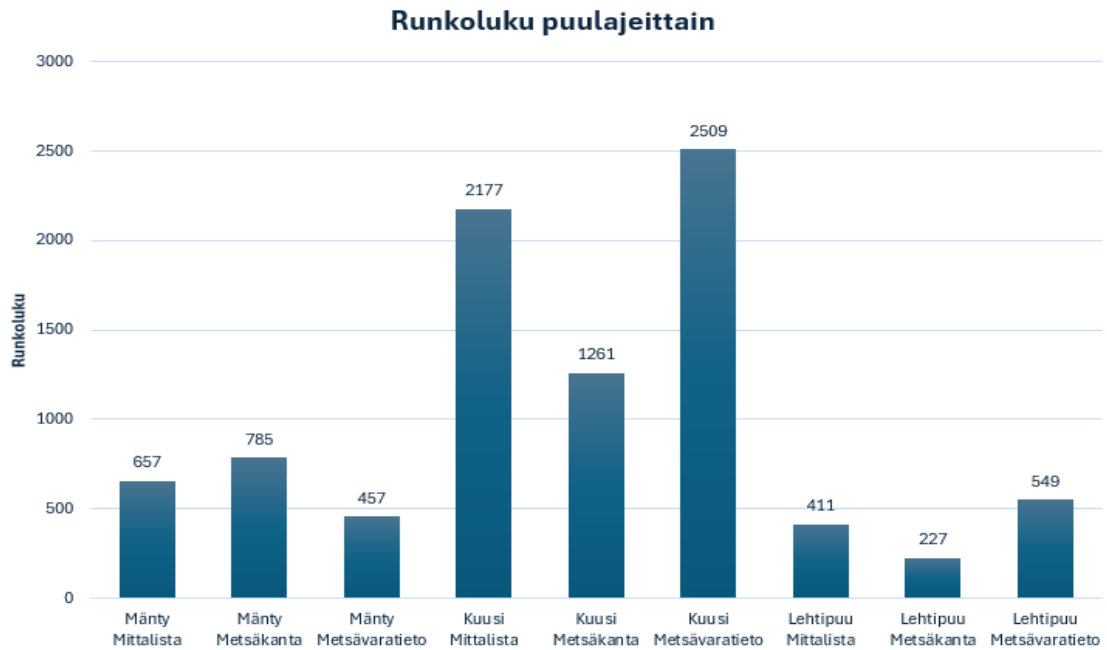
Kohde 2 on A.Ahlström Kiinteistöt Oy:n kohde, joka sijaitsee Parkanossa. Kohde on pinta-alaltaan noin 5,6 hehtaaria. Hakkuu on tehty kohteelle tammikuussa 2025 ja laserkeilausaineisto on kerätty vuonna 2020. Hakkuukuvion koon takia metsävaratietojen kuvat oli jaettu pienempiin osiin, jolloin niiden tietoja piti yhdistää vastaamaan koko hakkuualueetta. Kuvassa 2 on esitetty kohteen rajaus kartalla.



KUVA 2. Kohteen 2 rajaus.

7.2.1 Runkoluvut puulajeittain

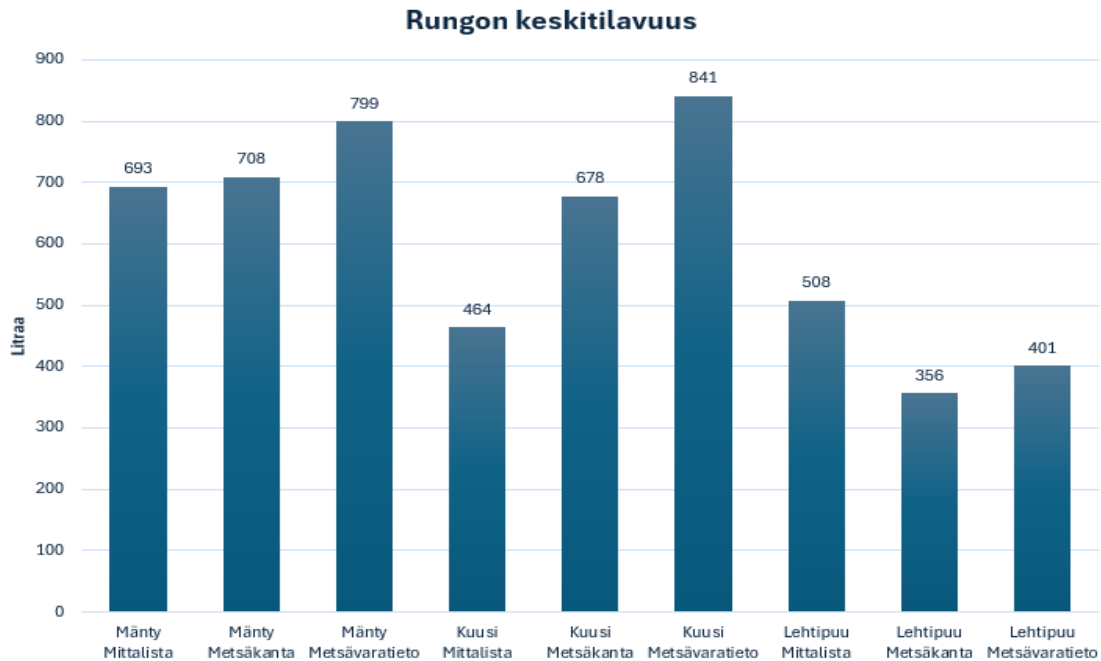
Kuviossa 9 on esitetty runkolukujakauma puulajeittain. Kokonaisrunkoluvuksi mittalista antoi kohteelle 3245 runkoa. Metsäkanta antoi kokonaisrunkoluvuksi 2273 runkoa ja metsävaratieto 3515 runkoa. Mäntyjä oli metsäkannan arvioinnissa 128 runkoa eli 19 % enemmän kuin mittalistassa. Metsävaratieto taas arvioi männyn runkoluvun 200 runkoa eli 30 % pienemmäksi. Kuusella Metsäkanta arvioi runkoluvun 916 runkoa eli 42 % pienemmäksi kuin mittalista. Metsävaratieto arvioi kuusen runkoluvun 332 runkoa eli 15 % suuremmaksi. Lehtipuita metsäkannassa oli 184 runkoa eli 45 % vähemmän. Metsävaratiedossa lehtipuita oli 138 runkoa eli 34 % enemmän kuin mittalistassa.



KUVIO 9. Runkoluvut puulajeittain.

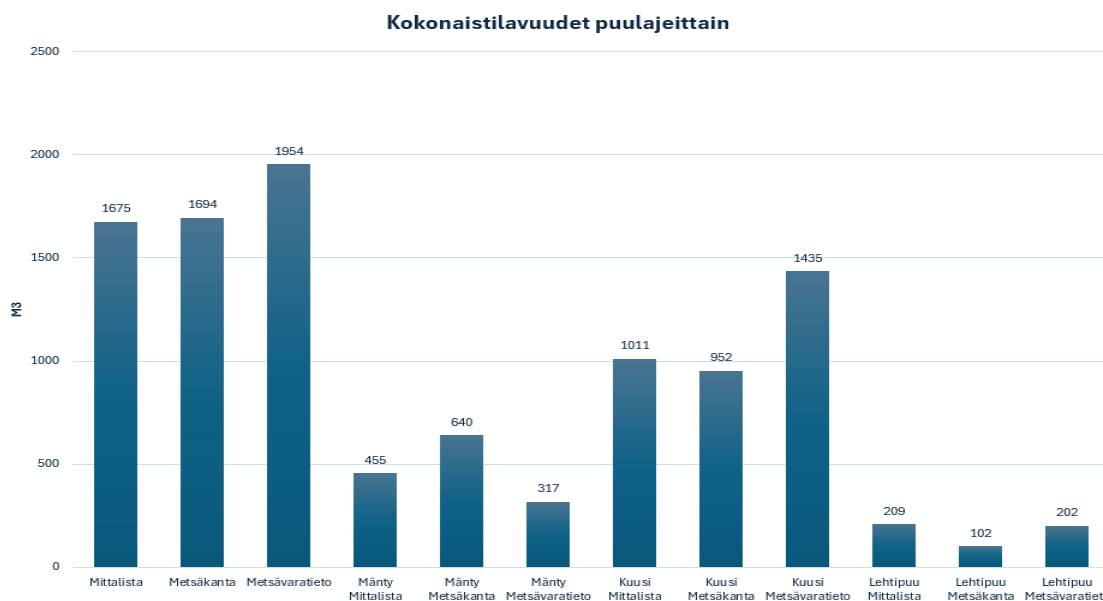
7.2.2 Tilavuuksien erot

Runkojen keskitilavuudet puulajeittain on esitetty kuviossa 10. Keskipäisy mäännyllä hakkuussa oli 693 litraa. Metsäkanta arvioi keskipäreyden 15 litraa eli 2 % suuremmaksi. Metsävaratieto arvioi järeyden 106 litraa eli 15 % suuremmaksi. Kuusen keskipäisy oli 464 litraa. Metsäkanta arvioi keskipäreyden 214 litraa eli 46 % suuremmaksi. Metsävaratieto arvioi kuusen keskipäreyden 377 litraa eli 81 % suuremmaksi. Lehtipuun keskipäisy mittalistassa oli 508 litraa. Metsäkanta arvioi sen 152 litraa eli 30 % pienemmäksi. Metsävaratieto arvioi keskipäreyden 107 litraa eli 21 % pienemmäksi.



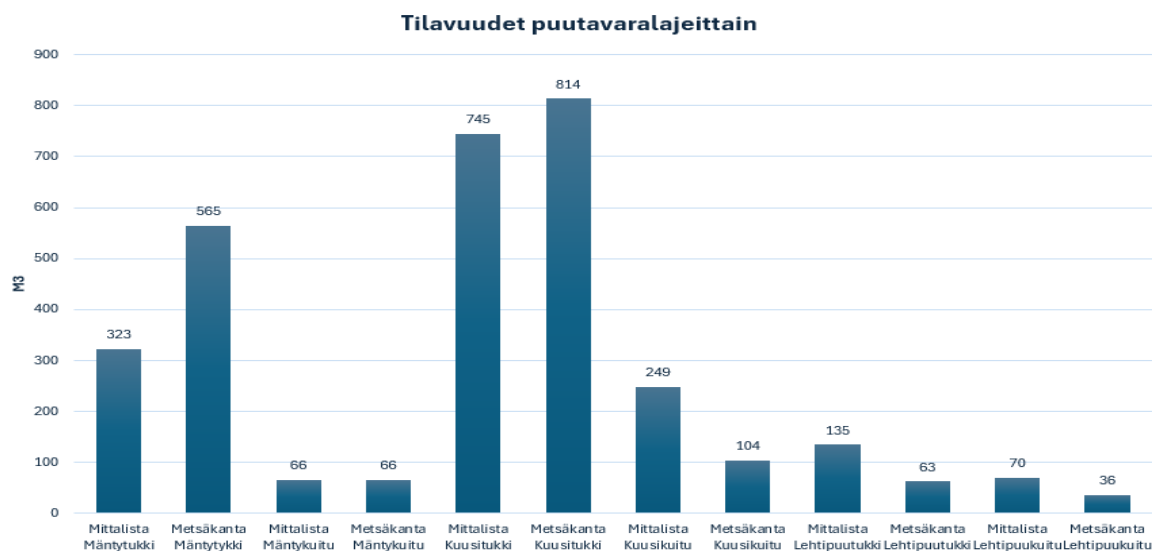
KUVIO 10. Runkojen keskitilavuudet puulajeittain.

Kohteen kokonaistilavuudet näkyvät kuviossa 11. Hakkuussa kokonaistilavuudeksi kohteelle tuli 1675 m³. Metsäkanta arvioi kohteen tilavuudeksi 1694 m³, joten Metsäkanta arvioi kohteelle 19 kuutiometriä eli 1 % enemmän. Metsävaratieto arvioi kohteelle 279 kuutiometriä eli 17 % enemmän kuin mittalista. Metsäkannassa mäntyä oli 185 kuutiometriä eli 41 % enemmän ja metsävaratiedossa 138 kuutiometriä eli 30 % vähemmän kuin mittalistassa. Kuusta oli metsäkannassa 59 kuutiometriä eli 6 % vähemmän ja metsävaratiedossa 424 kuutiometriä eli 42 % enemmän kuin mittalistassa. Lehtipuuta oli metsäkannassa 107 kuutiometriä eli 51 % vähemmän ja metsävaratiedossa 7 kuutiometriä eli 3 % vähemmän kuin mittalistassa.



KUVIO 11. Kokonaistilavuudet puulajeittain.

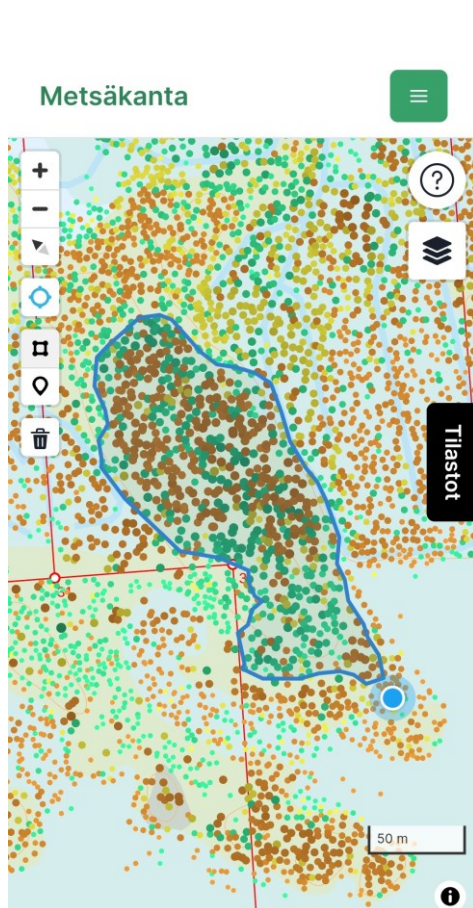
Puutavaralajeittain tulokset näkyvät kuviossa 12. Mäntytukille Metsäkanta arvioi 242 kuutiometriä eli 75 % enemmän mittalistaan verrattuna. Mäntykuidulle Metsäkanta antoi saman kuutiomäärän kuin mittalista. Kuusitukille Metsäkanta arvioi 69 kuutiometriä eli 9 % enemmän kuin mittalista. Kuusikuidulle Metsäkanta arvioi 145 kuutiometriä eli 58 % vähemmän kuin mittalista. Lehtipuutukille Metsäkanta arvioi 72 kuutiometriä eli 53 % vähemmän kuin mittalista. Lehtipuukuidulle Metsäkanta arvioi 34 kuutiometriä eli 49 % vähemmän kuin mittalista.



KUVIO 12. Tilavuudet puutavaralajeittain.

7.3 Kohde 3

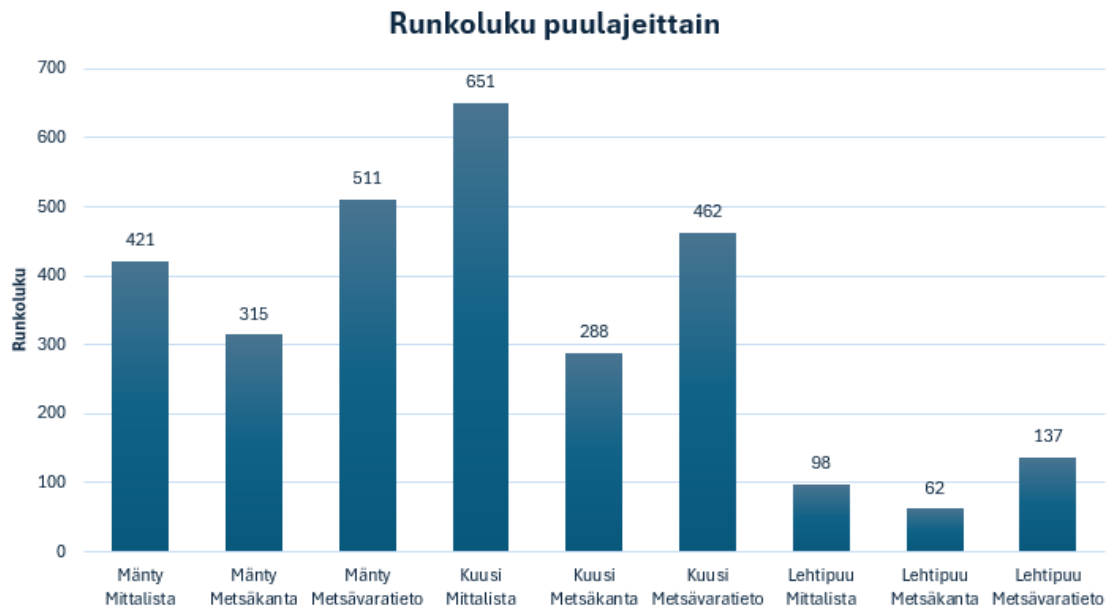
Kohde 3 on A.Ahlström Kiinteistöt Oy:n kohde, joka sijaitsee Parkanossa. Kohde on pinta-alaltaan noin 1,4 hehtaaria. Hakkuu on tehty kohteelle tammikuussa 2025 ja laserkeilausaineisto on kerätty vuonna 2020. Metsävaratietojen kuvioita piti kohteella yhdistää, jotta ne saataisiin vastaamaan hakkuualueetta. Kuvassa 3 on esitetty kohteen rajaus.



KUVA 3. Kohteen 3 rajaus.

7.3.1 Runkoluvut puulajeittain

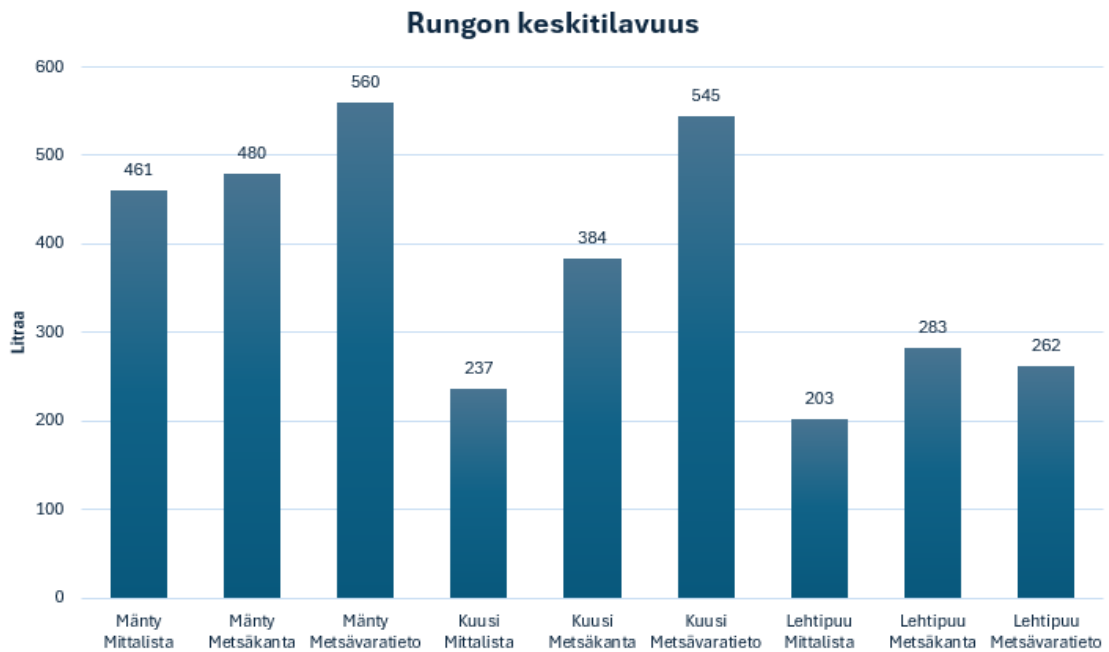
Kohteen kolme runkoluku on esitetty puulajeittain kuviossa 13. Mittalista antoi kohteelle kokonaisrunkoluvuksi 1170 runkoa, Metsäkanta arvioi runkoja 665 kappaletta ja metsävaratieto 1110 runkoa. Mäntyjä Metsäkanta arvioi 106 runkoa eli 25 % vähemmän kuin mittalista. Metsävaratieto arvioi mäntyjä 90 runkoa eli 21 % enemmän kuin mittalista. Kuusia Metsäkanta arvioi 363 runkoa eli 56 % vähemmän kuin mittalista. Metsävaratieto arvioi kuusia 189 runkoa eli 29 % vähemmän. Lehtipuita Metsäkanta arvioi 36 runkoa eli 37 % vähemmän ja metsävaratieto 39 runkoa eli 40 % enemmän kuin mittalista.



KUVIO 13. Runkoluku puulajeittain.

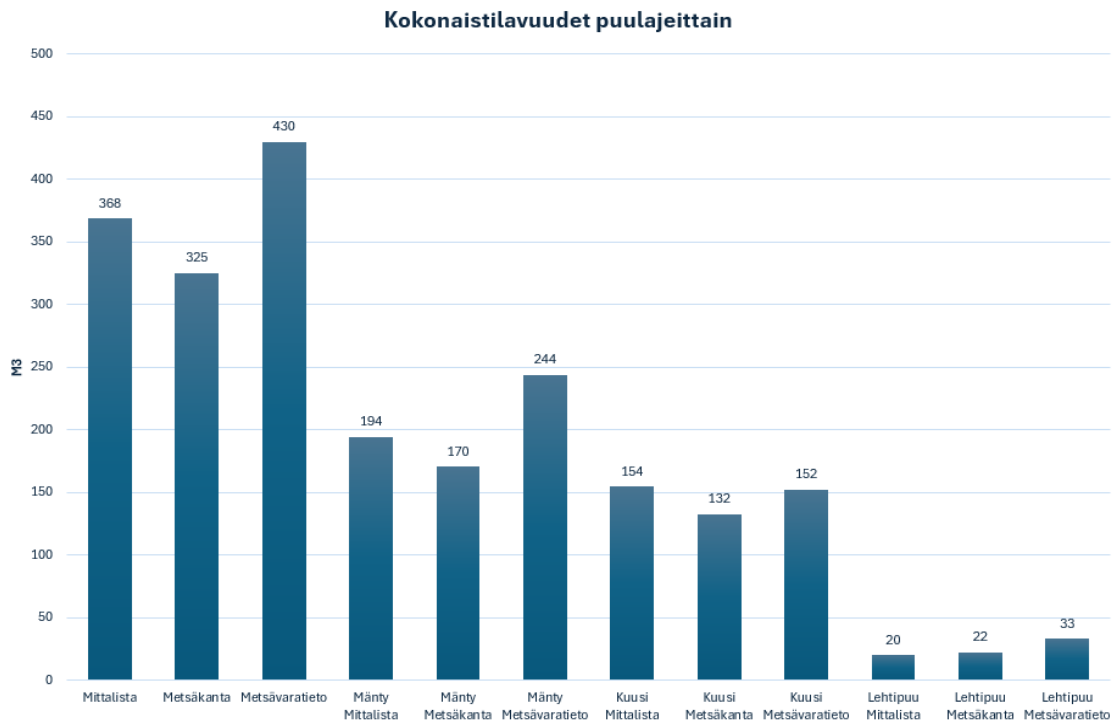
7.3.2 Tilavuuksien erot

Kohteen kolme runkojen keskitilavuudet on esitetty kuviossa 14. Männyn keskitilavuus hakkuulla oli 461 litraa. Metsäkanta arvioi keskitilavuuden 19 litraa eli 4 % suuremmaksi. Metsävaratieto arvioi keskitilavuuden 99 litraa eli 21 % suuremmaksi. Kuusen keskitilavuus kohteella oli 237 litraa. Metsäkanta arvioi sen 147 litraa eli 62 % suuremmaksi. Metsävaratieto arvioi keskitilavuuden 308 litraa eli 130 % suuremmaksi. Lehtipuulle keskitilavuudeksi hakkuussa tuli 203. Metsäkanta arvioi sen 80 litraa eli 39 % suuremmaksi ja metsävaratieto 59 litraa eli 29 % suuremmaksi kuin mittalista.



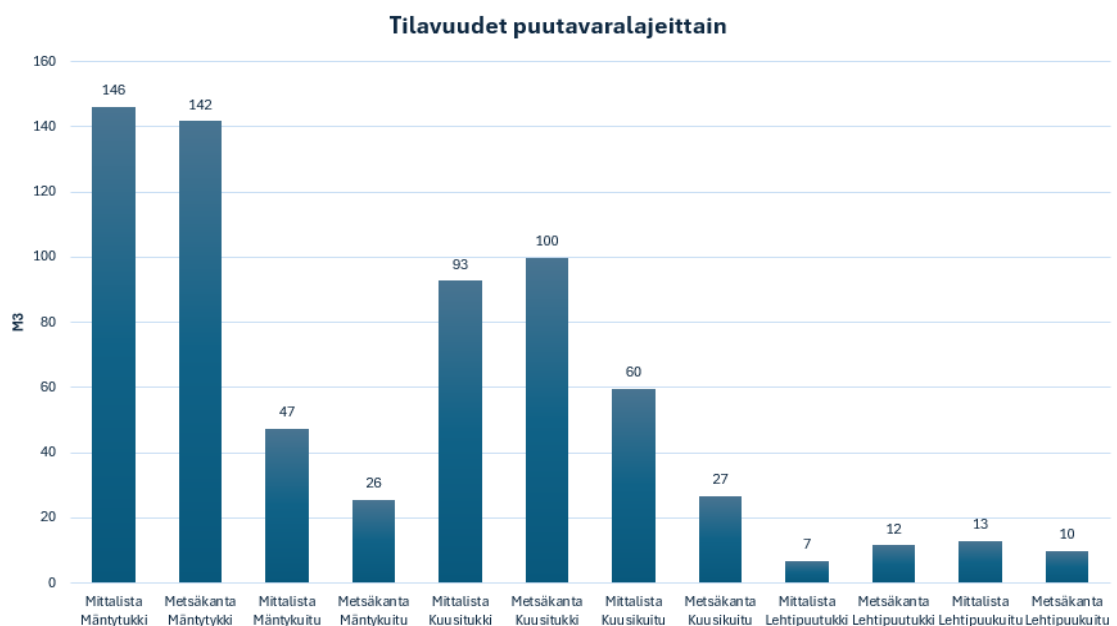
KUVIO 14. Rungon keskitilavuudet puulajeittain.

Kohteen kolme kokonaistilavuudet on esitetty kuviossa 15. Yhteensä kohteelta kerättiin hakkuussa 368 m³ puuta. Metsäkanta arvioi kohteen kokonaistilavuudeksi 325 m³, joten puuta oli arvioitu 43 kuutiometriä eli 12 % vähemmän. Metsävaratieto arvioi kokonaistilavuudeksi 430 m³, joten puuta oli arvioitu 62 kuutiometriä eli 17 % enemmän mittalistaan verrattuna. Mäntyä Metsäkanta arvioi 24 kuutiometriä eli 12 % vähemmän ja metsävaratieto 50 kuutiometriä eli 26 % enemmän kuin mittalista. Kuusta Metsäkanta arvioi 22 kuutiometriä eli 14 % vähemmän ja metsävaratieto 2 kuutiometriä eli 1 % vähemmän kuin mittalista. Lehtipuuta Metsäkanta arvioi 2 kuutiometriä eli 10 % enemmän ja metsävaratieto 11 kuutiometriä eli 65 % enemmän kuin mittalista.



KUVIO 15. Kokonaistilavuudet puulajeittain.

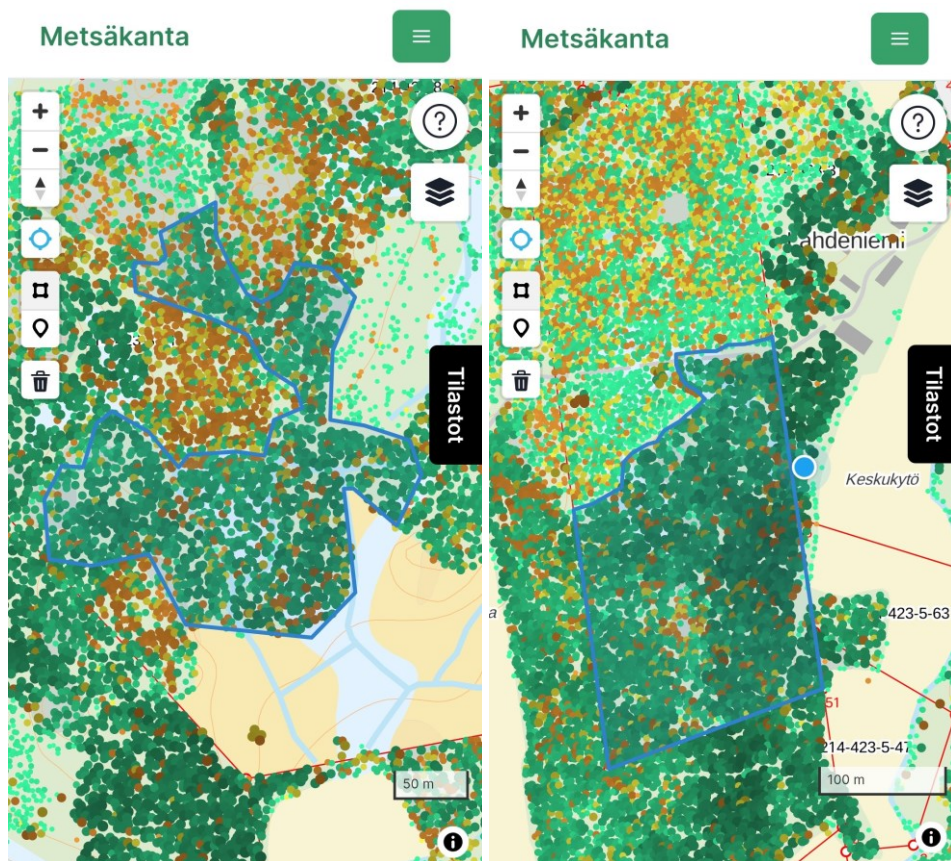
Kohteen tilavuudet puutavaralajeittain jaoteltuna on esitetty kuviossa 16. Mänty-tukille Metsäkanta arvioi 4 kuutiometriä eli 3 % vähemmän kuin mitalista. Mänty-kuitua oli 21 kuutiometriä eli 45 % vähemmän mitalistaan verrattuna. Kuusitukkia oli 7 kuutiometriä eli 8 % enemmän kuin mitalistassa. Kuusikuitua oli 33 kuutiometriä eli 55 % vähemmän. Lehtipuutukkia oli 5 kuutiometriä eli 71 % enemmän ja lehtipuukuitua 3 kuutiometriä eli 23 % vähemmän mitalistaan verrattuna.



KUVIO 16. Tilavuudet puutavaralajeittain.

7.4 Kohde 4

Kohde 4 on A.Ahlström Kiinteistöt Oy:n kohde, joka sijaitsee Kankaanpäässä. Kohteeseen kuuluu kaksi avohakkuu leimikkoa, jotka on tehty samalla tilalla. Toisen pinta-ala on noin 3,2 ha ja toisen noin 4,3 ha. Yhteensä kohteen pinta-ala on siis noin 7,5 hehtaaria. Puusto oli pääasiassa kuusivaltainen ja hakkuut on tehty tammikuussa ja helmikuussa 2025. Laserkeilausaineisto on kerätty vuonna 2021. Metsävaratietojen kuviot eivät vastanneet leimikoita, joten niitä piti yhdistää ja käyttää niiden hehtaariohaisia arvioita, jotta ne saataisiin vastaamaan parhaiten hakkuualueita. Kuvassa 4 on esitetty kohteiden rajaukset.

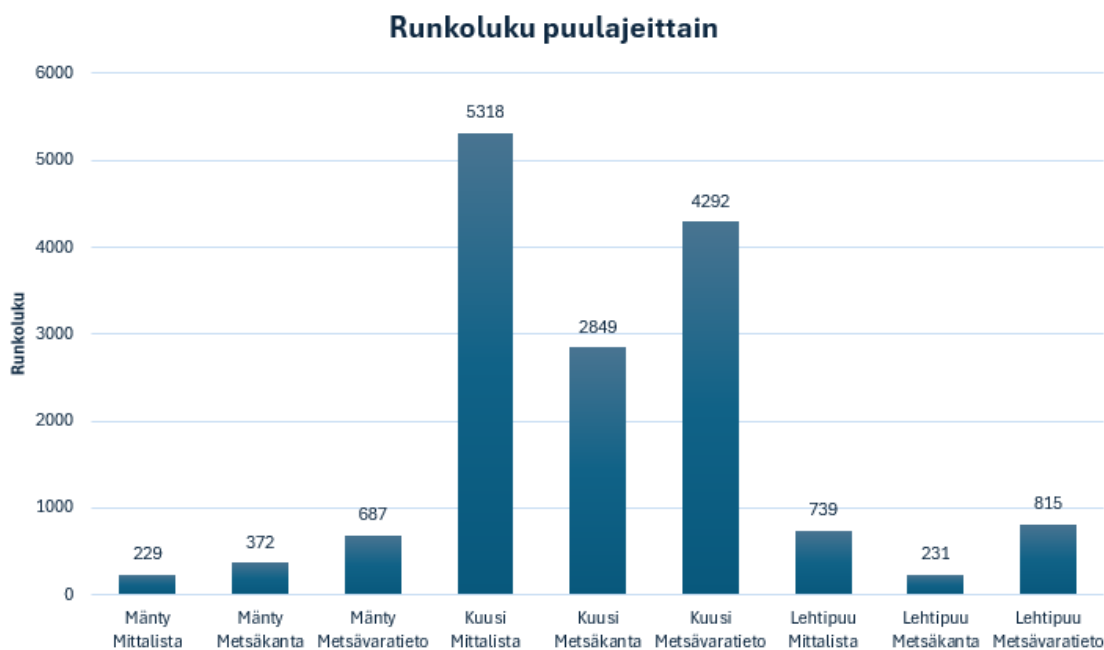


KUVA 4. kohteen 4 rajaukset.

7.4.1 Runkoluvut puulajeittain

Kohteen 4 runkoluvut puulajeittain on esitetty kuviossa 17. Kohteen kokonaisrunkoluku oli 6286. Metsäkanta arvioi runkoja 3452 kappaletta ja metsävaratieto 5793 kappaletta. Mäntyjä oli metsäkannan arvion mukaan 143 runkoa eli 62 %

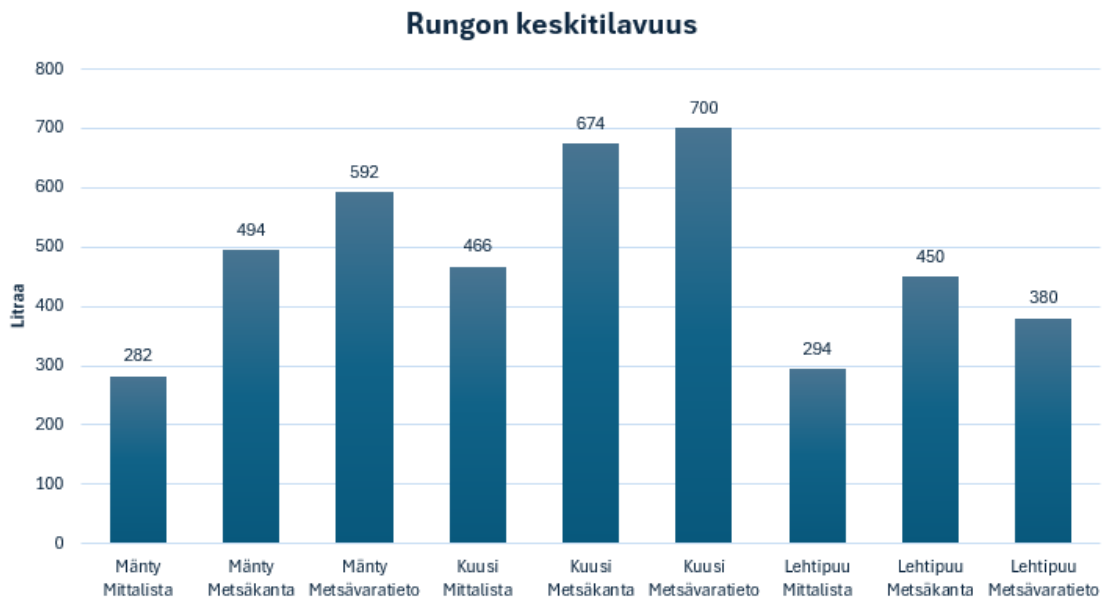
enemmän ja metsävaratiedon mukaan 458 runkoa eli 200 % enemmän kuin mittalistassa. Kuusia Metsäkanta arvioi 2469 runkoa eli 46 % vähemmän ja metsävaratieto 1026 runkoa eli 19 % vähemmän mittalistaan verrattuna. Lehtipuita Metsäkanta arvioi 508 runkoa eli 69 % vähemmän ja metsävaratieto 76 runkoa eli 10 % enemmän kuin mittalista.



KUVIO 17. Runkoluvut puulajeittain.

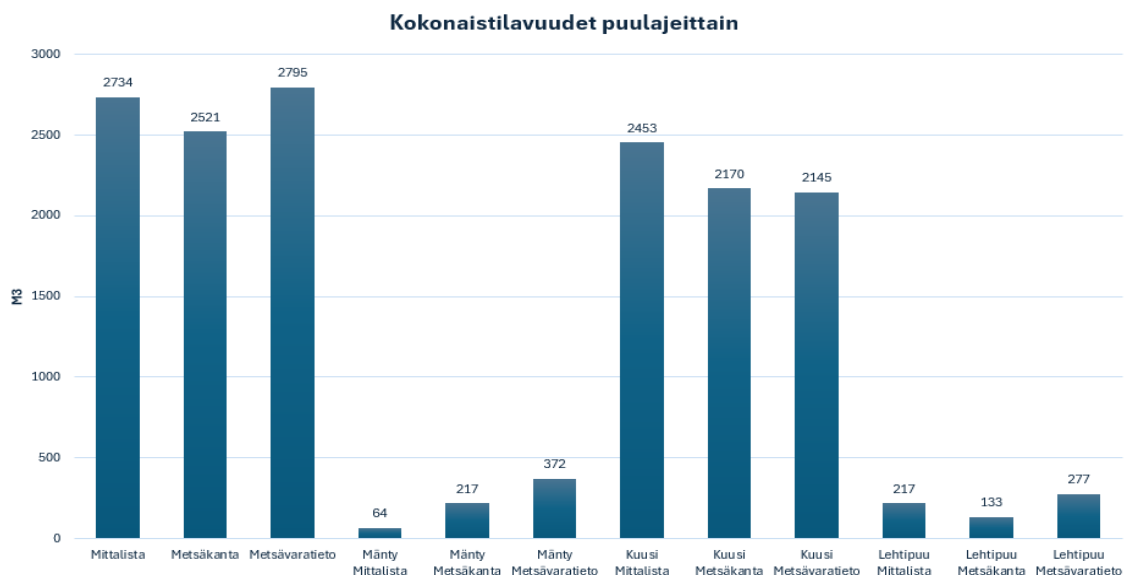
7.4.2 Tilavuuksien erot

Kohteen runkokohtaiset keskitilavuudet on esitetty kuviossa 18. Männyn keskitilavuudeksi tuli hakkuussa 282 litraa. Metsäkanta arvioi keskitilavuuden 212 litraa eli 75 % suuremmaksi ja metsävaratieto 310 litraa eli 110 % suuremmaksi kuin mittalista. Kuusen keskitilavuus kohteella oli 466 litraa. Metsäkanta arvioi keskitilavuuden 208 litraa eli 45 % suuremmaksi ja metsävaratieto 234 litraa eli 50 % suuremmaksi kuin mittalista. Lehtipuulle mittalista antoi keskitilavuudeksi 294 litraa. Metsäkanta arvioi keskitilavuuden 156 litraa eli 53 % suuremmaksi ja metsävaratieto 86 litraa eli 29 % suuremmaksi kuin mittalista.



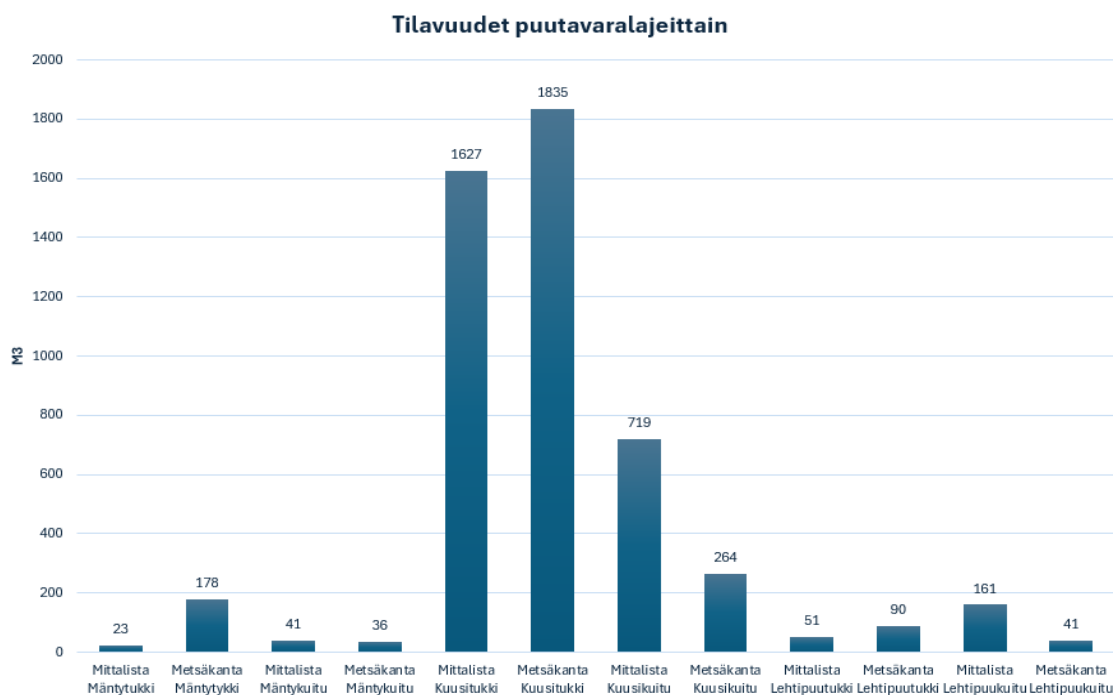
KUVIO 18. Rungon keskitilavuudet puulajeittain.

Kohteen kolme kokonaistilavuudet näkyvät kuviossa 19. Kokonaistilavuudeksi hakkuussa kertyi 2734 kuutiometriä. Metsäkanta arvioi kohteelle 2521 m³, joten puuta oli arvioitu 213 kuutiometriä eli 8 % vähemmän. Metsävaratieto arvioi kohteelle kokonaistilavuudeksi 2795 m³, joten puuta oli arvioitu 61 kuutiometriä eli 2 % enemmän kuin mittalista. Mäntyjen tilavuuden Metsäkanta arvioi 153 kuutiometriä eli 239 % suuremmaksi ja metsävaratieto 308 kuutiometriä eli 481 % suuremmaksi kuin mittalista. Kuuselle Metsäkanta arvioi 283 kuutiometriä eli 12 % vähemmän ja metsävaratieto 308 kuutiometriä eli 13 % vähemmän kuin mittalista. Lehtipuita Metsäkanta arvioi 84 kuutiometriä eli 39 % vähemmän ja metsävaratieto 60 kuutiometriä eli 28 % enemmän kuin mittalista.



KUVIO 19. Kokonaistilavuudet puulajeittain.

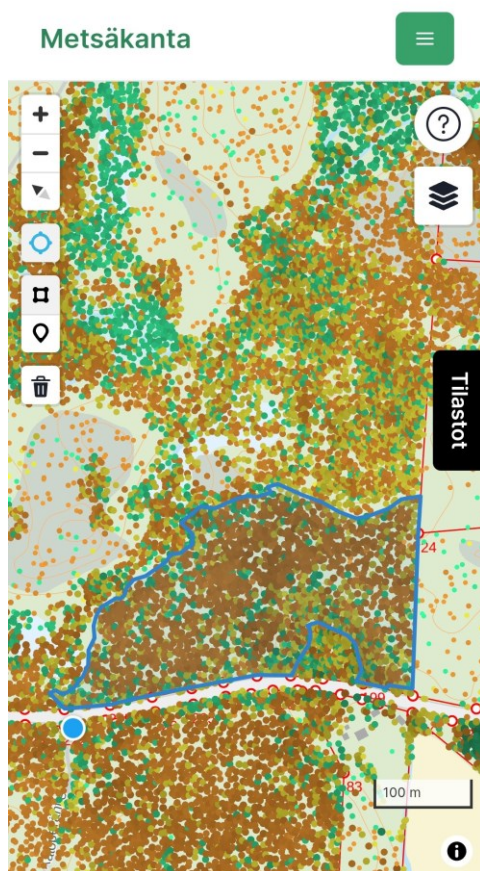
Kohteen tilavuudet puutavaralajeittain on esitetty kuviossa 20. Mäntytukille Metsäkanta arvioi 155 kuutiometriä eli 674 % enemmän kuin mitalista. Mäntykuitua oli 5 kuutiometriä eli 12 % vähemmän mitalistaan verrattuna. Kuusitukkia oli 208 kuutiometriä eli 13 % enemmän ja kuusikuitua 455 kuutiometriä eli 63 % vähemmän mitalistaan verrattuna. Lehtipuutukkia oli 39 kuutiometriä eli 76 % enemmän ja lehtipuukuitua 120 kuutiometriä eli 75 % vähemmän mitalistaan verrattuna.



KUVIO 20. Tilavuudet puutavaralajeittain.

7.5 Kohde 5

Kohde 5 on A.Ahlström Kiinteistöt Oy:n kohde, joka sijaitsee Ulvilassa Kullaalla. Kohteella oli pääsääntöisesti pelkästään mäntyjä, mutta leimikko rajoittui kuusi ja lehtipuu kuviolle, jossa oli tehty poimintahakkuuta. Poimintahakkuun vuoksi kuusi ja lehtipuut on otettu kohteen vertailusta pois. Kohteen kokonaispinta-ala on noin 5,1 hehtaaria ja poimintahakkuun osuus siitä on noin 1 hehtaari. Leimikko on hakattu maaliskuussa 2025 ja laserkeilaustiedot kohteelta on kerätty vuonna 2022. Kuvassa 5 on esitetty kohteen rajaus.

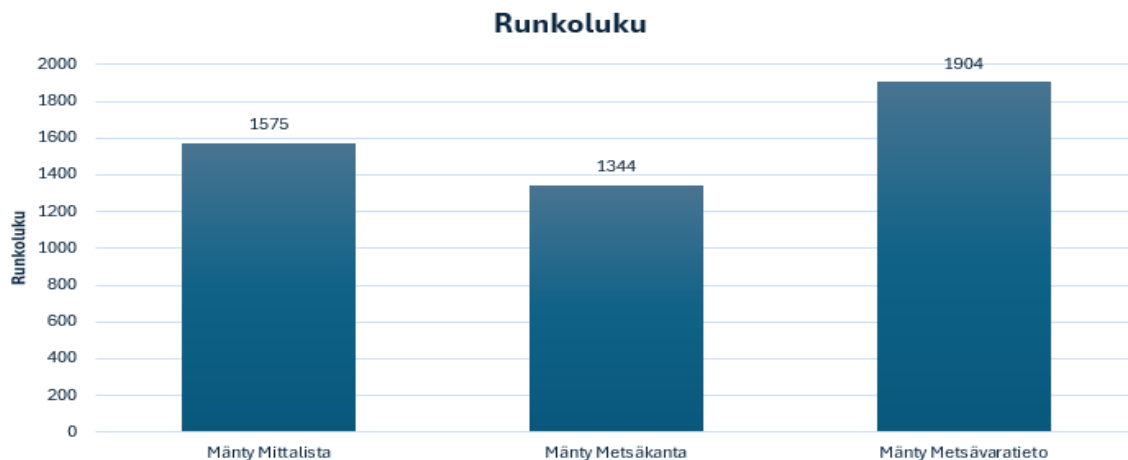


KUVA 5. Kohteen 5 rajaus.

7.5.1 Runkoluku ja tilavuudet

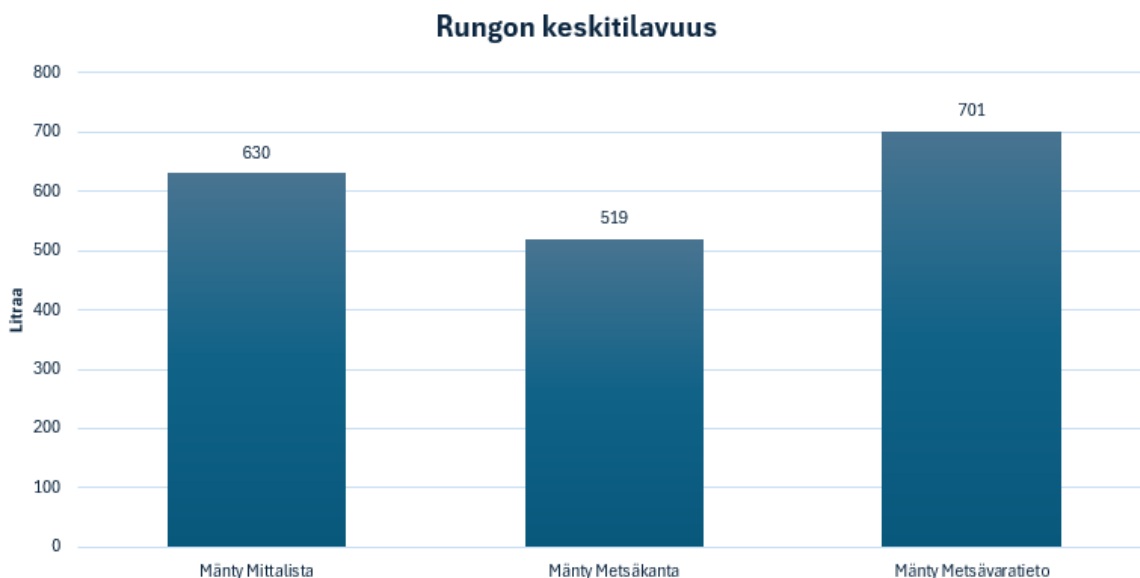
Runkolukujen jakaumat on esitetty kuviossa 21. Mittalista antoi mäntyjen runkoluvuksi 1575 kappaletta. Metsäkanta arvioi kohteelle mäntyjä 1344 kappaletta. Runkoja oli siis arvioitu 231 kappaletta eli 15 % vähemmän kuin toteutunut mittalistan tulos. Metsävaratieto arvioi kohteelle runkoja 1904 kappaletta. Runkoja oli

metsävaratiedon mukaan 329 kappaletta eli 21 % enemmän mittalistaan verrattuna.



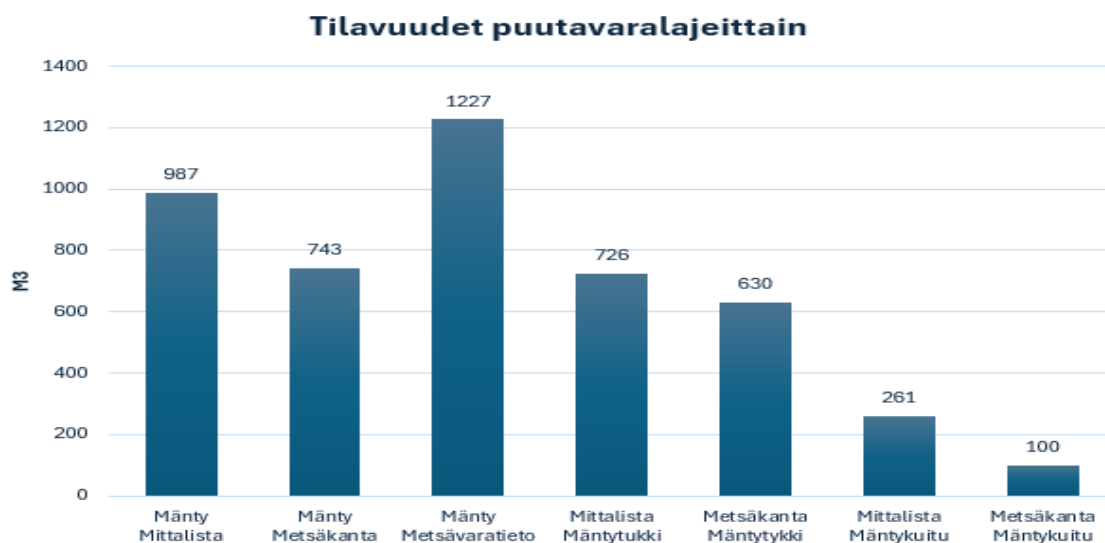
KUVIO 21. Mäntyjen runkoluvut.

Rungon keskitilavuudet on esitetty kuviossa 22. Männyn keskitilavuudeksi kohteelle tuli hakkuussa 630 litraa. Metsäkanta arvioi keskitilavuuden 111 litraa eli 18 % pienemmäksi kuin mittalista. Metsävaratieto arvioi keskitilavuuden 71 litraa eli 11 % suuremmaksi kuin mittalista.



KUVIO 22. Rungon keskitilavuus.

Mäntyjen kokonaistilavuudet ja puutavaralajikohtaiset tilavuudet on esitetty kuviossa 23. Mäntyjä kohteella oli yhteensä 987 kuutiometriä. Metsäkanta arvioi mäntyjä 244 kuutiometriä eli 25 % vähemmän kuin mittalista. Metsävaratieto arvioi mäntyjä 240 kuutiometriä eli 24 % enemmän kuin mittalista. Tukkia kohteella oli 726 kuutiometriä. Metsäkanta arvioi tukkeja 96 kuutiometriä eli 13 % vähemmän kuin mittalista. Kuitua oli yhteensä 261 kuutiometriä. Kuitua Metsäkanta arvioi 161 kuutiometriä eli 62 % vähemmän kuin mittalista.



KUVIO 23. Tilavuudet puutavaralajeittain.

7.6 Yhteenveto vertailuista

Taulukossa 1 on esitetty mäntyjen osalta yhteenveto kaikista kohteilta mitatuista arvoista. Mäntyjen osalta Metsäkanta pääsi kaikilta osa-alueilta tarkempiin tuloksiin kuin metsävaratieto. Prosentuaalisesti suurin ero mittalistaan esiintyy kuitujen osalta, jossa ero on 44 %. Pienin ero oli keskijäreyden osalta, jossa kohteiden keskiarvojen ero on 0,5 %

TAULUKKO 1. Mäntyjen yhteenveto.

Mänty	Kohde	1	2	3	4	5	Yht.	Ero
Mittalista	Runkoja	105	657	421	229	1575	2987	0 %
Metsäkanta	Runkoja	126	785	315	372	1344	2942	-2 %
Metsävara	Runkoja	86	457	511	687	1904	3645	22 %
Mittalista	Keskijäreys L	705	693	461	282	630	554	0 %
Metsäkanta	Keskijäreys L	555	708	480	494	519	551	-1 %
Metsävara	Keskijäreys L	927	799	560	592	701	716	29 %
Mittalista	Tilavuus m³	74	455	194	64	987	1774	0 %
Metsäkanta	Tilavuus m ³	80	640	170	217	743	1850	4 %
Metsävara	Tilavuus m ³	70	317	244	372	1227	2230	26 %
Mittalista	Tukki m³	61	323	146	23	726	1279	0 %
Metsäkanta	Tukki m ³	67	565	142	178	630	1582	24 %
Metsävara	Tukki m ³	56	256	183	265	929	1689	32 %
Mittalista	Kuitu m³	13	66	47	41	261	428	0 %
Metsäkanta	Kuitu m ³	12	66	26	36	100	240	-44 %

Taulukossa 2 on esitetty kuusien osalta yhteenveto kaikista kohteilta mitatuista arvoista. Suurin ero metsäkannan osalta oli kuitujen arvioinnissa, jossa ero on 60 %. Runkoluku oli metsävaratietojen osalta tarkempi, jonka vuoksi metsävaratiedot arvioivat kuitujen osuuden tarkemmin, jolloin myös kokonaistilavuudessa oli vähemmän eroa. Tukkien osalta eroa mittalistaan oli kuitenkin yhteensä vain 6 kuutiometriä eli 0,2 %.

TAULUKKO 2. Kuusien yhteenveto.

Kuusi	Kohde	1	2	3	4	Yht.	Ero
Mittalista	Runkoja	1399	2177	651	5318	9545	0 %
Metsäkanta	Runkoja	828	1261	288	2849	5226	-45 %
Metsävara	Runkoja	1417	2509	462	4292	8680	-9 %
Mittalista	Keskijäreys L	807	464	237	466	494	0 %
Metsäkanta	Keskijäreys L	883	678	384	674	655	33 %
Metsävara	Keskijäreys L	1077	841	545	700	791	60 %
Mittalista	Tilavuus m³	1128	1011	154	2734	5027	0 %
Metsäkanta	Tilavuus m ³	797	952	132	2521	4402	-12 %
Metsävara	Tilavuus m ³	1122	1435	152	2795	5504	9 %
Mittalista	Tukki m³	986	745	93	1627	3451	0 %
Metsäkanta	Tukki m ³	708	814	100	1835	3457	0,2 %
Metsävara	Tukki m ³	965	1133	104	1643	3845	11 %
Mittalista	Kuitu m³	132	249	60	719	1160	0 %
Metsäkanta	Kuitu m ³	68	104	27	264	463	-60 %

Taulukossa 3 on esitetty lehtipuiden osalta yhteenveto kaikista kohteilta mitatuista arvoista. Eniten eroa Metsäkantaan esiintyi kuitujen osuudessa, jonka ero on 62 %. Vähiten eroa on tukkien osuudessa, jossa päästiin 6 % tarkkuuteen.

TAULUKKO 3. Lehtipuiden yhteenveto.

Lehtipuu	Kohde	1	2	3	4	Yht.	Ero
Mittalista	Runkoja	182	411	98	739	1430	0 %
Metsäkanta	Runkoja	89	227	62	231	609	-57 %
Metsävara	Runkoja	65	549	137	815	1566	10 %
Mittalista	Keskijäreys L	298	508	203	294	326	0 %
Metsäkanta	Keskijäreys L	347	356	283	450	359	10 %
Metsävara	Keskijäreys L	670	401	262	380	428	31 %
Mittalista	Tilavuus m³	54	209	20	217	500	0 %
Metsäkanta	Tilavuus m ³	42	102	22	133	299	-40 %
Metsävara	Tilavuus m ³	40	202	33	277	552	10 %
Mittalista	Tukki m³	11	135	7	51	204	0 %
Metsäkanta	Tukki m ³	26	63	12	90	191	-6 %
Metsävara	Tukki m ³	18	58	1	86	163	-20 %
Mittalista	Kuitu m³	24	70	13	161	268	0 %
Metsäkanta	Kuitu m ³	15	36	10	41	102	-62 %

Taulukossa 4 on esitetty yhteenveto kaikille puulajeille. Vähiten eroa metsäkannassa esiintyi tukin osuudessa, joka oli 6 % ja eniten eroa oli kuitujen osuudessa, joka oli 57 %. Metsävaratieto pääsi runkoluvun osuudelta tarkempaan tulokseen kuin Metsäkanta. Metsävaratiedolla eroa oli 1 % ja metsäkannalla 37 %.

TAULUKKO 4. Kaikkien puulajien yhteenveto.

Kaikki puulajit	Vertailukohde	Yhteensä	Ero
Mittalista	Runkoja	13962	0 %
Metsäkanta	Runkoja	8777	-37 %
Metsävara	Runkoja	13891	-1 %
Mittalista	Keskijäreys L	458	0 %
Metsäkanta	Keskijäreys L	522	14 %
Metsävara	Keskijäreys L	645	41 %
Mittalista	Tilavuus m³	7301	0 %
Metsäkanta	Tilavuus m ³	6551	-10 %
Metsävara	Tilavuus m ³	8286	13 %
Mittalista	Tukki m³	4934	0 %
Metsäkanta	Tukki m ³	5230	6 %
Metsävara	Tukki m ³	5697	15 %
Mittalista	Kuitu m³	1856	0 %
Metsäkanta	Kuitu m ³	805	-57 %

8 Pohdinta

Metsäkannan tietojen avulla voidaan todeta, että yksinpuintulkinnan avulla on mahdollista päästä lähes yhtä tarkkoihin tai tarkempiin tuloksiin kuin aluepohjaisella tulkinnalla. Suurimmat erot esiintyivät pääsääntöisesti runkoluvuissa ja kuitujen osuudessa, joka oli oletettavaa.

Yksinpuintulkinnan ongelmana on pienempien runkojen tunnistaminen, koska ne helposti jäävät isompien puiden alle. Kohteilla oli eniten kuusi ja koivu alikasvosta, jonka vuoksi niillä runkolukujen ero on suurempi. Mäntyalikasvosta ei esiintynyt yhtä suurissa määrin, jonka vuoksi mäntyjen osalta runkoluvussa on päästy tarkempiin tuloksiin. Koska kuiturunkoja ei ole tunnistettu, on kuidun määrä arvioitu alhaisemmaksi. Pienten runkojen pois jääminen näkyy myös arvioidussa keskijäretydessä, joka on lähes jokaisella kohteella arvioitu suuremmaksi. Suurempi keskijäreys tosin kompensoi pois jääneitä runkoja, jonka vuoksi kokonaistilavuudet pysyvät samoissa lukemissa. Keskijäretyden arviointi on metsäkannassa lähes jokaisella kohteella tarkempi, joka viittaa siihen, että yksinpuintulkinnalla on pystytty arvioimaan pituutta ja läpimittaa tarkemmin. Keskipituuden ja läpimitan tarkkuus on tärkeää, jotta kohteelta luotuun runkolukusarjaan voidaan luottaa.

Metsäkanta on suunniteltu tukki kokoisten runkojen löytämiseen, jossa se on onnistunut. Tukkien tilavuudet ovat jokaisen puulajin osalta saatu kokonaisuudessa tarkemmin yksinpuintulkinnan kuin aluepohjaisen tulkinnan avulla. Laserkeilauksella ei pystytä havaitsemaan tyvilahoa, joka vähensi kuusella tukin osuutta. Myös rungon muodot pienentävät todellista tukkiprosenttia. Työssä verrattiin vain avohakkuikäisiä metsiä, joten nuorilla kasvatusmetsillä tulokset olisivat todennäköisesti olleet epätarkempia.

Yksinpuintulkinnan avulla on kohteilla päästy riittävään tarkkuuteen, jotta siihen voidaan luottaa puuston arvioinnissa päätehakkuikäisissä metsissä. Metsäkantaa on mahdollista hyödyntää leimikoiden suunnittelussa, sillä puustotiedot saa helposti rajattua haluamaltaan alueelta, jolloin saa arvioin kohteen puuston määrästä ja runkolukusarjan, jonka avulla saadaan yksityiskohtaista tietoa läpimitta-

ja pituusjakaumista. Yksinpuintulkintaa voidaan hyödyntää myös säästöpuuryhmien suunnittelussa ja jättää kohteelle eniten hiiltä sitovat rungot.

Tuloksia voidaan pitää luotettavina. Tulosten luotettavuuteen vaikuttaa GPS tarkkuus, jonka takia alueen reunoilta on voinut jäädä tai tulla lisää yksittäisiä puita. Rajauksessa ei myöskään voitu käyttää yli 83 pistettä, koska 84 pisteen jälkeen eivät tulokset enää toimineet. Rajoitus johtuu todennäköisesti siitä, että sovellus on yhä kehitysvaiheessa. Myös säästöpuuta ei ole huomioitu mittalistan tuloksissa. Alueenrajauksessa helpotti Metsäkannan puiden visuaalinen esitysmuoto, jossa puulajit olivat jaettu omiin väreihin ja pisteinä esitetyt rungot kasvoivat järjestyksen mukaan. Metsävaratiedoissa alue on jaettu kuvioihin, jotka eivät aina vastaa identtisesti leimikon rajoja vaan kuvioita on pitänyt yhdistää ja laskea hehtaarikohtaisia arvioita. Siitä syystä metsävaratietojen rajausta ei ole yhtä tarkkaa kuin metsäkannan rajausta. Alueet olivat kuitenkin riittävän laajoja, jolloin yksittäisten puiden merkitys ei muuta tuloksia merkittävästi. Otokoko on suhteellisen pieni, jolloin yksittäisillä kohteilla on isompi vaikutus kokonaistuloksiin, eikä hajontaa ole tasaamaan tulosten välisiä eroja. Laserkeilaus on toteutettu kohteille 2020–2022 ja korjuu 2025. Puuston keskikasvu on noin $6\text{m}^3/\text{ha}/\text{vuosi}$, jolloin siitä voi aiheutua pientä eroa tulosten välille. Metsävaratiedot simuloivat puustotunnukset vuosittain kasvun mukaan, mutta simuloinnilla ei tarkkaan tulokseen päästä. Tulosten tarkkuutta olisi voitu parantaa suuremmalla otoskoolla, tarkkuus-GPS:llä ja rajaamalla metsävaratietojen vertailuaineisto käyttäen hilaruutujen yhteenlaskettuja arvoja.

Tulevaisuudessa voidaan laserkeilauksessa hyödyntää vielä suurempaa pistetiheyttä, jolloin sitä voidaan verrata tämänhetkiseen keilausaineistoon ja tutkia päästäänkö sillä tarkempaan tuloksiin kuitupuukokoisten runkojen osalta. Jatkotutkimuksissa voisi myös ottaa maalaserkeilauksella tuotettua aineistoa vertailukohteeksi. Vertailun lisäksi voisi tutkia, kuinka tarkkoihin tuloksiin päästäisiin yhdistämällä aineistojen arvoja. Aineistoja yhdistämällä pystyttäisiin kehittämään mahdollisimman tarkkaa metsävaratietoa, jolla voitaisiin vähentää metsäasiantuntijoiden maastossa käyttämää työaikaa.

LÄHTEET

Haara, A. 2002. Kasvuennusteiden luotettavuuden selvittäminen knn-menetelmällä ja monitavoiteoptimoinnilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002, 391–406. Viitattu 26.3.2025.

<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/533724/ennusteet.pdf>

Heikurainen M., Paavilainen L., Rintala P., Palokangas J., Saarentaus T., Immonen K., Sirviö J., Jaakkola S., Palojärvi K., Laiho J. & Hongisto T. 2018. Hakkuukoneen mittaustarkkuuden ylläpito. *Luonnonvarakeskus* 12.9.2018. Viitattu 27.2.2025.

https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542746/Suositus_Hakkuukoneen%20mittaustarkkuuden%20yll%C3%A4pito_12092018.pdf?sequence=1

Holopainen, M., Hyypä, J & Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. *Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja* 5: 1–75. Viitattu 24.2.2025.

<http://hdl.handle.net/10138/42935>

Holopainen, M., Vastaranta M. & Hyypä J. 2014. Yksityiskohtaisen metsävaratiedon tuottaminen – kohti täsmämetsätaloutta? *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2014, 229–234. Viitattu 26.3.2025.

https://www.researchgate.net/publication/314031162_Yksityiskohtaisen_metsavaratiedon_tuottaminen_-_kohti_tasmametsataloutta

Hyypä, J., Holopainen, M., Vastaranta, M. & Puttonen, E. 2009. Yksittäisten puiden mittaus ja muutosten seuranta laserkeilauksella. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2009, 361–365. Viitattu 24.2.2025.

<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/533368/JHyyp%EF%BF%BD.pdf?sequence=1>

Hyypä, M., Turppa, T., Hyyti, H., Yu, X., Handolin, H., Kukko, A., Hyypä J. & Virtanen, J. 2024. Concepts Towards Nation-Wide Individual Tree Data and Virtual Forests. *MDPI*. Viitattu 25.2.2025.

<https://www.mdpi.com/2220-9964/13/12/424>

Kalliovirta J. & Tokola T. 2005. Functions for estimating stem diameter and tree age using tree height, crown width and existing stand database information. *Silva Fennica* 39(2): 227–248. Viitattu 13.4.2025

<https://www.silvafennica.fi/article/386>

Kontinen K., Kotiharju A. & Vanhatalo K. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset puukauppakohteen laadintaan, työopas. *Tapion julkaisuja* 9.10.2019. Viitattu 5.3.2025.

https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_puukauppakohteen_laadintaan_Tapio-2019.pdf

Korpela I. 2011. Metsikkökoealojen kartoitus ja mittaus. *Helsingin yliopisto* 10.6.2011. Viitattu 14.4.2025

https://www.mv.helsinki.fi/home/korpela/MARV1_2011/Mittausmenetelma.html

Korpilahti A., Hujo S. & Poikela A. 2006. Tukkien hyvän katkontatuloksen edellytykset. Metsäteho 30.6.2006. Viitattu 27.2.2025.
https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_tuloskalvosarja_2006_13.pdf

Maa- ja Metsätalousministeriön asetus puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden kätöstä 17.6.2013/12. Viitattu 14.4.2025
<https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/wp-content/uploads/sites/9/2017/03/41198-13012fi.pdf>

Maanmittauslaitos. 2023. Kymmenien miljoonien säästöt uusien metsätiedon keruumenetelmien avulla. Artikkelit 15.5.2023. Viitattu 25.2.2025
<https://www.maanimittauslaitos.fi/ajankohtaista/kymmenien-miljoonien-saastot-uusien-metsatiedon-keruumenetelmien-avulla>

Maanmittauslaitos. n.d. Yksittäisen puun tilavuuden ja arvon määrittäminen. Verkkosivu. Viitattu 27.4.2025.
<https://ak.maanimittauslaitos.fi/2019/metsatalous/yksittaisen-puun-tilavuuden-ja-arvon-maarittaminen>

Metsäkeskus. n.d. Metsävaratiedot. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2025.
<https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/metsatietoaineistot/metsavaratiedot>

Metsäkeskus. n.d. Tiedonkeruu. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2025.
<https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietojen-yllapito/tiedonkeruu>

Metsäkanta. n.d. Metsävaratiedot yksittäisten puiden tarkkuudella. Verkkosivu. Viitattu 25.2.2025.
<https://metsakanta.fi/>

Metsäkeskus. n.d. Tiedon laatu. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2025.
<https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietojen-yllapito/tiedonlaatu>

Metsäteho. 8.5.2018. Mittausmenetelmä. Verkkosivu. Viitattu 26.2.2025.
<https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/hakkuukonemittaus/mittausmenetelma/>

Pyörälä J., Räsänen T., Hämäläinen J., Maltamo M., Karjalainen T., Peuhkurinen J., Repola J., Mäkinen H., Hyyppä J. & Holopainen M. 2019. Puuston laatu-tunnusten mittaus ja mallinnus. Metsätieteen aikakauskirja 2019–10253. Tieteen tori: Metsätieto ja sähköiset palvelut. 5 s. Viitattu 27.3.2025.
<https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/article/10253>

Rasinmäki J, Mäkinen A & Kalliovirta J. 2009. Puukohtainen inventointitieto metsätalouden suunnittelun päätöstukijärjestelmässä. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009, 382–385. Viitattu 4.3.2025.
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/533372>

Vauhkonen J, Kankare V, Tanhuanpää T, Holopainen M, Vastaranta M. 2013. Puuston runkolukusarjan ja laatutunnusten mittaus kaukokartoituksella. Metsäteho 1.8.2013. Viitattu 4.3.2025.

https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti_223_Puuston_runkolukusarjan_ja_laatutunnusten_kaukokartoitus_jv_ym.pdf

LIITTEET

Liite 1. Kohde 1 mittalista

PUUTAVARALAJIT KOODEITTAIN, RUNKOTYYPEITTÄIN

Runkotyyppi	PTL	Kpl	jm	m³
Kuitu	15 MÄK	176	674,49	10,410
Kuitu	25 KUK	2059	8087,67	101,958
Kuitu	36 KOK 1	417	1254,89	23,492
Kuitu	45 LAKU	72	195,23	11,101
Kuitu	55 KUITU3	1	4,07	0,108
Kuitu	56 ENRPUU	141	631,54	19,133
Tukki	11 MÄT	274	1265,94	61,068
Tukki	12 MÄSAKU	33	137,99	2,580
Tukki	21 KUT	3418	16719,87	967,014
Tukki	22 KUSAKU	345	1463,59	29,771
Tukki	28 KUSORVI	16	82,98	18,514
Tukki	34 KOT 2	46	217,55	11,362

Runkolajit

Puulaji	Runkotyyppi	Tukki %	Runko kpl	Lkm	jm	m³	m³/runko
F11_Pine_Mänty	1 TUKKI		96	465	2003,53	73,135	0,762
F11_Pine_Mänty	2 KUITU		9	18	74,89	0,923	0,103
F12_Spruc Kuusi	1 TUKKI		1202	5590	25309,75	1115,719	0,928
F12_Spruc Kuusi	2 KUITU		197	320	1239,59	12,639	0,064
F13_Birch Koivu	1 TUKKI		34	163	570,29	20,422	0,601
F13_Birch Koivu	2 KUITU		88	300	902,15	14,432	0,164
F14_Other Muu puulaji	2 KUITU		60	142	635,61	19,241	0,321
			1686	6998	30735,81	1256,511	0,745

Puulaji

Puulaji	Tukkipuu-	ADBH	Runkoja	Kpl	jm	m³	m³/runko
F11_Pine_Mänty	85,94	272	105	483	2078,42	74,058	0,705
F12_Spruc Kuusi	89,98	274	1399	5910	26549,34	1128,358	0,807
F13_Birch Koivu	32,60	184	122	463	1472,44	34,854	0,286
F14_Other Muu puulaji		216	60	142	635,61	19,241	0,321
			1686	6998	30735,81	1256,511	0,745

Liite 2. Kohde 2 mittalista

Yhteismäärät

Puuaji	Tietoja	Versio	Rungot	Tukit	Tilavuus (2a)	Keski-SHD (mm)	Tukkien keskipituus (cm)	Keskimäärin runkovolyymi (2a)
MÄNTY		1	657	2763	455,39		295	1963,46
KUUSI	2	2177	7193		1010,94		218	1545,20
KOIVU	3	411	1818		208,63		236	1547,23
Yhteensä			3245	11774		1674,96	230	1630

Runkolaji

Puuaji	Runkolaji	Koodi	Rungot	Tukit	Tilavuus (2a)	Tukkien keskipituus (cm)	Keskimäärin runkovolyymi (2a)
MÄNTY	TUKKIRUNKO	11	533	2295	389,24		1904
	KUITURUNKO	12	120	468	66,15		1890
	Yhteensä		653	2763	455,39		1975
KUUSI	TUKKIRUNKO	21	1344	5694	924,54		1991
	KUITURUNKO	22	808	1499	86,41		852
	Yhteensä		2150	7193	1010,94		1964
KOIVU	TUKKIRUNKO	31	400	1801	205,36		1568
	KUITURUNKO	32	7	17	3,27		1215
	Yhteensä		407	1818	208,63		1562

Tuoteyhteenveto

MÄNTY	Tietoja	Versio	Ostaja	Tukit	Tukkien keskipituus (cm)	Tilavuus (2a)
energia				474		485
Isotukki (2)	11		0105	1444		471
KUITU	0		0	845		450
Yhteensä				2763		467

Tuotantoraportti

25.1.2025 9:57:36

2 (2)

KUUSI	Tietoja	Versio	Ostaja	Tukit	Tukkien keskipituus (cm)	Tilavuus (2a)
LAHO	215		5201	116		305
ENERGIA	215		5201	40		407
Isotukki	11		0105	3182		487
KUITU	0		0	3855		457
Yhteensä				7193		468

KOIVU	Tietoja	Versio	Ostaja	Tukit	Tukkien keskipituus (cm)	Tilavuus (2a)
ENERGIA	999		XXXX	19		504
koivu tukki				804		440
KUITU	0		6269	1195		302
Yhteensä				1818		350

Liite 3. Kohde 3 mittalista

Yhteismäärät

Puuaji	Tietoja	Versio	Rungot	Tukit	Tilavuus (2a)	Keski-BHD (mm)	Tukkien keskipituus (cm)	Keskimäärin runkovolyymi (2a)
MÄNTY		1	421	1538	194,28		232	1717,08
KUUSI		2	651	1542	154,29		189	1105,33
KOIVU		3	98	329	19,85		165	1064,78
Yhteensä			1170	3409	368,42		192	1322

Runkolaji

Puuaji	Runkolaji	Koodi	Rungot	Tukit	Tilavuus (2a)	Tukkien keskipituus (cm)	Keskimäärin runkovolyymi (2a)
MÄNTY	TUKKIRUNKO	11	415	1532	193,65		1735
	KUITURUNKO	12	4	8	0,63		688
	Yhteensä		419	1538	194,28		1725
KUUSI	TUKKIRUNKO	21	261	929	124,87		1694
	KUITURUNKO	22	374	613	29,42		741
	Yhteensä		635	1542	154,29		1133
KOIVU	TUKKIRUNKO	31	95	328	19,82		1092
	KUITURUNKO	32	1	1	0,03		516
	Yhteensä		96	329	19,85		1088

Tuoteyhteenvedo

MÄNTY	Tietoja	Versio	Ostaja	Tukit	Tukkien keskipituus (cm)	Tilavuus (2a)
energia				6	459	0,63
laotuski (2)	11		0105	814	480	146,22
KUITU	0		0	718	459	47,43
Yhteensä				1538	470	194,28

Tuotantoraportti

18.1.2025 12:25:57

2 (2)

KUUSI	Tietoja	Versio	Ostaja	Tukit	Tukkien keskipituus (cm)	Tilavuus (2a)
LAHO	215		5201	17	305	1,58
ENERGIA	215		5201	26	293	0,36
laajoki	11		0105	451	495	92,67
KUITU	0		0	1048	461	59,69
Yhteensä				1542	467	154,29

KOIVU	Tietoja	Versio	Ostaja	Tukit	Tukkien keskipituus (cm)	Tilavuus (2a)
ENERGIA	999		XXXX	4	356	0,06
koivu tukki				38	432	6,88
KUITU	0		6269	287	301	12,91
Yhteensä				329	317	19,85

Liite 4. Kohde 4 mittalistat

PUUTAVARALAJIT								
Puulaji		Tunniste	Koodi			kpl	m	⊙m³
Mänty	Energia	Ponsse_Mänty_Energiapuu	13			3	14,12	0,258
	Kuitu5	Ponsse_Mänty_Kuitu5	12			158	744,07	11,279
	TUKKI	Ponsse_Mänty_Tukki	11			35	164,54	7,612
Kuusi	LAHO	P9E9D_38	22			336	1029,39	43,296
	kamppi	P9E9D_56	21			111	557,96	55,125
	isotukki	P9E9D_58	21			4	20,43	3,550
	Energia	Ponsse_Kuusi_Energia	23			103	470,49	11,439
	Kuitu5	Ponsse_Kuusi_Kuitu5	22			7744	33975,74	506,900
TUKKI	Ponsse_Kuusi_Tukki	21			4225	20306,14	957,392	
Koivu	Energia	Ponsse_Koivu_Energia	33			35	158,25	2,967
	Kuitu3	Ponsse_Koivu_Kuitu3	32			1849	5559,28	105,775
	TUKKI	Ponsse_Koivu_Tukki	31			150	734,14	36,474

RUNKOLAJIT								
Puulaji	Runkolaji	Tukki% (m³)	Koodi	Runkoja	⊙l/Runko	kpl	m	⊙m³
Mänty	Mäntytukki	77,7	11	16	612,3	62	280,39	9,797
	Mäntykuitu		12	51	178,3	131	628,22	9,094
	Mänty muu runkolaji		13	1	257,9	3	14,12	0,258
Kuusi	Kuusitukki	76,5	21	1859	714,8	8272	37923,44	1328,824
	Kuusikuitu		22	1755	135,6	4158	18011,82	238,061
	Kuusi muu runkolaji		23	49	220,7	93	424,88	10,817
Koivu	Koivutukki	60,9	31	88	680,1	472	1707,25	59,857
	Koivukuitu		32	399	207,0	1532	4607,39	82,619
	Koivu muu runkolaji		33	15	182,7	30	137,02	2,741

PUULAJIT								
Puulaji	Tunniste	ADBH	Runkoja	⊙m³/Runko	kpl	m	⊙m³	
Mänty	F11_Pine	184	68	0,282	196	922,73	19,149	
Kuusi	F12_Spruce	205	3663	0,431	12523	56360,14	1577,702	
Koivu	F13_Birch	184	502	0,289	2034	6451,67	145,217	
Yhteensä			4233	0,412	14753	63734,53	1742,067	

PUUTAVARALAJIT								
Puulaji		Tunniste	Koodi			kpl	m	⊙m³
Mänty	Energia	Ponsse_Mänty_Energiapuu	13			1	4,48	0,062
	Kuitu5	Ponsse_Mänty_Kuitu5	12			422	1985,91	29,838
	TUKKI	Ponsse_Mänty_Tukki	11			100	461,41	15,440
Kuusi	LAHO	P9E9D_38	22			290	872,66	39,700
	kamppi	P9E9D_56	21			34	167,60	15,698
	Painokallio	P9E9D_58	21			579	2948,76	220,716
	Energia	Ponsse_Kuusi_Energia	23			80	378,69	11,953
	Kuitu5	Ponsse_Kuusi_Kuitu5	22			3270	14097,48	212,395
TUKKI	Ponsse_Kuusi_Tukki	21			1931	9433,63	374,569	
Koivu	Energia	Ponsse_Koivu_Energia	33			20	93,12	1,717
	Kuitu3	Ponsse_Koivu_Kuitu3	32			933	2801,99	55,378
	TUKKI	Ponsse_Koivu_Tukki	31			62	299,71	14,704

RUNKOLAJIT								
Puulaji	Runkolaji	Tukki% (m³)	Koodi	Runkoja	⊙l/Runko	kpl	m	⊙m³
Mänty	Mäntytukki	62,0	11	58	429,0	226	1031,05	24,886
	Mäntykuitu		12	102	199,9	296	1416,27	20,392
	Mänty muu runkolaji		13	1	62,4	1	4,48	0,062
Kuusi	Kuusitukki	77,8	21	1086	722,7	4819	22093,61	784,948
	Kuusikuitu		22	535	146,2	1289	5445,70	78,235
	Kuusi muu runkolaji		23	34	348,4	76	359,51	11,849
Koivu	Koivutukki	65,1	31	37	610,6	176	644,62	22,593
	Koivukuitu		32	192	247,3	819	2457,08	47,489
	Koivu muu runkolaji		33	8	214,6	20	93,12	1,717

PUULAJIT								
Puulaji	Tunniste	ADBH	Runkoja	⊙m³/Runko	kpl	m	⊙m³	
Mänty	F11_Pine	185	161	0,282	523	2451,79	45,340	
Kuusi	F12_Spruce	234	1655	0,529	6184	27898,82	875,031	
Koivu	F13_Birch	196	237	0,303	1015	3194,82	71,800	
Yhteensä			2053	0,483	7722	33545,43	992,171	

Liite 5. Kohde 5 mittalistas

RUNKOMÄÄRÄ JA TILAVUUS					
Puuajit	(Runko)	(m ³ hinta)	(m ³ hinta/kpl)	(m ³ KKP)	(m ³ KKP/kpl)
Mänty					
Tukkirunko(11)	670	479,21	0,715	479,21	0,715
Kultuurunko(12)	231	29,85	0,147	29,85	0,147
Yhteensä	901	509,06	0,584	509,06	0,584
Luokittelemattomat rungot	1				
Yhteensä - luokitellut rungot	870		0,585		0,585
Kuusi					
Tukkirunko(21)	8	5,01	0,626	5,01	0,626
Kultuurunko(22)	28	2,01	0,072	2,01	0,072
Yhteensä	36	7,01	0,195	7,01	0,195
Luokittelemattomat rungot	0				
Yhteensä - luokitellut rungot	36		0,195		0,195
Koivu					
Tukkirunko(31)	5	2,74	0,547	2,74	0,547
Kultuurunko(32)	318	21,19	0,067	21,19	0,067
Yhteensä	323	23,92	0,074	23,92	0,074
Luokittelemattomat rungot	0				
Yhteensä - luokitellut rungot	323		0,074		0,074
Lehti					
Tukkirunko(41)	0	0,00	0,000	0,00	0,000

TimberMATIC 18.3.2025 11.38.37 2(3)
kappi amph-25
Kaikki lobit

RUNKOMÄÄRÄ JA TILAVUUS (jatkuu)					
Kultuurunko(42)	22	1,54	0,070	1,54	0,070
Yhteensä	22	1,54	0,070	1,54	0,070
Luokittelemattomat rungot	0				
Yhteensä - luokitellut rungot	22		0,070		0,070
Yhteensä - kaikki rungot	1252	541,33	0,432	541,33	0,432
Yhteensä - luokitellut rungot	1251		0,433		0,433

TAVARALAJERITTELY

Mänty	(kpl)	Hintatyyppi	(m ³)	(m ³ /kpl)	(m)	(m/kpl)
MÄNTYKUUTU (1200)	1482	m ³ kpl	137,77	0,09	6843,57	4,62
ENERKIA (8200)	13	m ³ kpl	0,45	0,03	53,88	4,14
TUKKI Westas (1101)	1594	m ³ kpl	370,64	0,23	7335,78	4,60
Yhteensä:	3089	m ³ kpl	508,86	0,16	14233,23	4,61

RUNKOMÄÄRÄ JA TILAVUUS					
Puuajit	(Runko)	(m ³ hinta)	(m ³ hinta/kpl)	(m ³ KKP)	(m ³ KKP/kpl)
Mänty					
Tukkirunko(11)	595	459,43	0,771	459,43	0,771
Kultuurunko(12)	111	18,75	0,169	18,75	0,169
Yhteensä	707	478,18	0,676	478,18	0,676
Luokittelemattomat rungot	2				
Yhteensä - luokitellut rungot	705		0,678		0,678
Kuusi					
Tukkirunko(21)	0	0,00	0,000	0,00	0,000
Kultuurunko(22)	9	1,01	0,112	1,01	0,112
Yhteensä	9	1,01	0,112	1,01	0,112
Luokittelemattomat rungot	0				
Yhteensä - luokitellut rungot	9		0,112		0,112
Koivu					
Tukkirunko(31)	2	1,34	0,670	1,34	0,670
Kultuurunko(32)	147	10,29	0,070	10,29	0,070
Yhteensä	149	11,63	0,078	11,63	0,078
Luokittelemattomat rungot	0				
Yhteensä - luokitellut rungot	149		0,078		0,078
Lehti					
Tukkirunko(41)	0	0,00	0,000	0,00	0,000

TimberMATIC 20.3.2025 15.02.24 2(3)
kappi amph-25 1
Kaikki lobit

RUNKOMÄÄRÄ JA TILAVUUS (jatkuu)					
Kultuurunko(42)	1	0,06	0,059	0,06	0,059
Yhteensä	1	0,06	0,059	0,06	0,059
Luokittelemattomat rungot	0				
Yhteensä - luokitellut rungot	1		0,059		0,059
Yhteensä - kaikki rungot	865	490,88	0,567	490,88	0,567
Yhteensä - luokitellut rungot	864		0,568		0,568

TAVARALAJERITTELY

Mänty	(kpl)	Hintatyyppi	(m ³)	(m ³ /kpl)	(m)	(m/kpl)
MÄNTYKUUTU (1200)	1200	m ³ kpl	123,10	0,10	5382,54	4,49
ENERKIA (8200)	2	m ³ kpl	0,02	0,01	6,79	3,40
TUKKI MG (1103)	1459	m ³ kpl	355,06	0,24	6820,95	4,66
Yhteensä:	2661	m ³ kpl	478,18	0,18	12210,28	4,59